

UNIVERSIDADE FEDERAL DOS VALES DO JEQUITINHONHA E MUCURI

Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal

Lucas Guilherme Moura Oliveira

**MODELAGEM HIPSOMÉTRICA E SELEÇÃO QUANTO A PRODUTIVIDADE,
ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE GENOTÍPICA DE CLONES DE *Eucalyptus*
spp. e *Corymbia* spp. EM DIFERENTES ESPAÇAMENTOS DE PLANTIO**

Diamantina

2019

Lucas Guilherme Moura Oliveira

**MODELAGEM HIPSOMÉTRICA E SELEÇÃO QUANTO A PRODUTIVIDADE,
ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE GENOTÍPICA DE CLONES DE *Eucalyptus*
spp. e *Corymbia* spp. EM DIFERENTES ESPAÇAMENTOS DE PLANTIO**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, como requisito para obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Luiz de Laia

Diamantina

2019

Elaborado com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

O48m Oliveira, Lucas Guilherme Moura
Modelagem hipsométrica e seleção quanto a produtividade,
adaptabilidade e estabilidade genotípica de clones de *Eucalyptus spp.* e
Corymbia spp. em diferentes espaçamentos de plantio / Lucas
Guilherme Moura Oliveira, 2019.
111 p. : il.

Orientador: Marcelo Luiz de Laia

Dissertação (Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Ciência
Florestal) - Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e
Mucuri, Diamantina, 2019.

1. Interação GxE. 2. MHPRVG. 3. Modelos lineares. 4. REML/Blup.
I. Laia, Marcelo Luiz de. II. Título. III. Universidade Federal dos Vales
do Jequitinhonha e Mucuri.

CDD 634.9

LUCAS GUILHERME MOURA OLIVEIRA

**MODELAGEM HIPSOMÉTRICA E SELEÇÃO QUANTO A
PRODUTIVIDADE, ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE GENOTÍPICA DE
CLONES DE *Eucalyptus* spp. E *Corymbia* spp. EM DIFERENTES
ESPAÇAMENTOS DE PLANTIO**

Dissertação apresentada ao
MESTRADO EM CIÊNCIA
FLORESTAL, nível de MESTRADO
como parte dos requisitos para
obtenção do título de MESTRE EM
CIÊNCIA FLORESTAL

Orientador (a): Prof. Dr. Marcelo Luiz
De Laia


Data da aprovação : 06/08/2019



Prof.Dr. MARCELO LUIZ DE LAIA - UFVJM



Prof.Dr. MARCIO LELES ROMARCO DE OLIVEIRA - UFVJM



Prof.Dr. LEANDRO SILVA DE OLIVEIRA - UFMG

DIAMANTINA

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, irmãos e minhas
filhas Laura e Helena.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por permitir ter chegado até aqui e por tudo que tem feito em minha vida;

À minha família por todos os conselhos e confiança depositada em mim;

À minhas filhas Laura e Helena, por sempre me darem forças para enfrentar as dificuldades. À Tatiana Freitas, por todo o carinho, atenção e paciência;

À Ednelson, Darlaine e José Arthur, pela amizade e me tornarem parte de sua família;

À Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, pela oportunidade, e apoio financeiro durante o curso;

À empresa Aperam Bioenergia, por permitir a realização deste trabalho e por todo o apoio prestado;

Ao professor Marcelo Luiz de Laia, por prover valiosos ensinamentos, pela dedicação, paciência e confiança ao longo desta jornada;

Aos colegas de trabalho do Laboratório de Genética e Biotecnologia Florestal pela amizade e cumplicidade construída. Em especial para Ariadne, Viviane, Tamira, Tarcísio, Darliana e Felipe.

Aos demais colegas do Departamento de Engenharia Florestal, um forte abraço!

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

RESUMO

O espaçamento de plantio exerce influência direta no desenvolvimento e nas relações hipsométricas de clones de eucalipto. Neste tocante, a análise de seu efeito na relação hipsométrica e na produtividade, adaptabilidade e estabilidade genotípica se torna fundamental. A instabilidade genotípica pode suprimir a produtividade esperada de um genótipo, além de poder provocar alterações na relação hipsométrica e dificultar a escolha de modelos. Neste contexto, objetivou o ajuste e seleção de seis modelos hipsométricos para a estimativa do caráter altura total (HT), bem como a análise da interação genótipo x espaçamento (GxE) em vista à seleção de clones adaptados e estáveis genotipicamente em diferentes espaçamentos. O experimento foi implantado em delineamento em blocos casualizados com seis repetições em esquema de parcelas subdivididas com cinco clones de eucalipto (parcelas) em seis diferentes espaçamentos (subparcelas). Aos 48 meses de idade foram mensurados os caracteres circunferência a altura do peito (CAP) e HT. Os modelos foram avaliados quanto aos coeficientes obtidos via regressão. A seleção dos clones foi realizada por meio dos dados de diâmetro a altura do peito (DAP), HT e volume individual (VOL). Os componentes de variancia foram estimados pelo método da máxima verossimilhança restrita (REML) e preditos pelo melhor preditor linear não viesado (BLUP). A análise da estabilidade e adaptabilidade foi realizada pela média harmônica do desempenho relativo dos valores genéticos (MHPRVG). Baseado nas medidas de precisão os modelos 5 e 6 apresentaram os melhores ajustes, para diferentes clones e espaçamentos. A interação GxE é do tipo simples. Os clones C3, C4 e C5 apresentaram significativos ganhos com seleção, e melhor desempenho quanto a adaptabilidade e estabilidade genotípica.

Palavras chave: Interação GxE; MHPRVG; Modelos lineares; REML/Blup.

ABSTRACT

Plant spacing exerts a direct influence on the development and hypsometric relationships of eucalyptus clones. In this regard, the analysis of its effect on the hypsometric relationship and productivity, adaptability and genotypic stability becomes fundamental. Genotypic instability may suppress the expected productivity of a genotype, and may cause changes in the hypsometric relationship and make it difficult to choose models. In this context, the objective was to adjust and select six hypsometric models for estimating the total height (HT) character, as well as the genotype x spacing (GxS) interaction analysis in order to select clones adapted and genotypically stable at different spacings. The experiment was carried out in a randomized block design with six replications in a split - plot scheme with five eucalyptus clones (plots) in six different spacings (subplots) at 48 months. The characters measured were the circumference at breast height (CBH) and Ht. The models were evaluated for regression coefficients. The selection of the clones was performed using the data of diameter at breast height (DBH), HT and individual volume (VOL). The analysis of stability and adaptability was performed by the harmonic mean relative performance of genetic values (HMRPGV). Based on the precision measurements the models 5 and 6 presented the best adjustments, for different clones and spacings. The GxS interaction is of the simple type. Clones C3, C4 and C5 showed significant gains with selection, and better performance regarding adaptability and stability genotypic.

Keywords: GxS interaction; HMRPGV; Linear models; REML / Blup.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Distribuição gráfica dos resíduos do caráter altura total (HT) em função do diâmetro a altura do peito (DAP) para os modelos selecionados em cada clone e espaçamento.....	41
Figura 2. Interação genótipo por espaçamento, para os caracteres diâmetro a altura do peito (DAP), altura total (HT) e volume individual (VOL) para cada clone em cada espaçamento.....	78

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Material genético utilizado no estudo.....	36
Tabela 2. Espaçamentos, espaços vitais de crescimento e densidade de plantas por hectare utilizados no estudo.	36
Tabela 3. Modelos hipsométricos ajustados para a estimativa do caráter altura total (HT).....	37
Tabela 4. Critérios para escolha do melhor modelo para estimativa da altura total (HT), em função do diâmetro a altura do peito (DAP).	37
Tabela 5. Coeficientes estimados para os modelos hipsométricos que melhor se ajustaram para cada clone e espaçamento.	39
Tabela 6. Material genético utilizado no estudo.	70
Tabela 7. Espaçamentos, espaços vitais de crescimento e densidade de plantas por hectare utilizados.	70
Tabela 8. Estimativa dos componentes de variância (REML individual) para os caracteres diâmetro a altura do peito (DAP), altura total (HT) e volume individual (VOL) de clones de <i>Eucalyptus</i> spp. e <i>Corymbia</i> spp. plantados em diferentes espaçamentos.	71
Tabela 9. Estimativas do ganho genético predito (BLUP individual) para os caracteres diâmetro a altura do peito (DAP), altura total (HT) e volume individual (VOL) em clones de <i>Eucalyptus</i> spp. e <i>Corymbia</i> spp. considerando o desempenho médio entre espaçamentos.	72
Tabela 10. Estimativas do ganho genético predito (BLUP individual) para o caráter diâmetro a altura do peito (DAP) em clones de <i>Eucalyptus</i> spp. e <i>Corymbia</i> spp. considerando o desempenho em cada espaçamento.....	73

Tabela 11. Estimativas do ganho genético predito (BLUP individual) para o caráter altura total (HT) em clones de <i>Eucalyptus</i> spp. e <i>Corymbia</i> spp. considerando o desempenho em cada espaçamento.	74
Tabela 12. Estimativas do ganho genético predito (BLUP individual) para o caráter volume individual (VOL) em clones de <i>Eucalyptus</i> spp. e <i>Corymbia</i> spp. considerando o desempenho em cada espaçamento.	75
Tabela 13. Produtividade, estabilidade e adaptabilidade (MHPRVG e MHPRVG* μ) dos valores genotípicos de clones de <i>Eucalyptus</i> spp. e <i>Corymbia</i> spp. para os caracteres diâmetro à altura do peito (DAP), altura total (HT) e volume individual (VOL).	77
Tabela 14. Eficiência da seleção indireta e correlação genética entre os clones avaliados para os caracteres diâmetro a altura do peito (DAP), altura total (HT) e volume individual (VOL).	79

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL	16
2	REFERÊNCIAS.....	19
ARTIGO 1- MODELAGEM HIPSOMÉTRICA EM PLANTIO CLONAL DE <i>Eucalyptus</i> spp. e <i>Corymbia</i> spp. EM DIFERENTES ARRANJOS DE PLANTIO		21
RESUMO.....		22
ABSTRACT		23
1	INTRODUÇÃO	24
2	MATERIAL E MÉTODOS.....	26
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
4	CONCLUSÕES	32
5	REFERÊNCIAS.....	32
ARTIGO 2 – PRODUTIVIDADE, ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE GENOTÍPICA DE CLONES DE <i>Eucalyptus</i> spp. e <i>Corymbia</i> spp. EM DIFERENTES ESPAÇAMENTOS DE PLANTIO		42
RESUMO.....		43
ABSTRACT		44
1	INTRODUÇÃO	45
2	MATERIAL E MÉTODOS.....	48
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	54
4	CONCLUSÕES	64
5	REFERÊNCIAS.....	65
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....		80
REFERÊNCIAS		85
APÊNDICE A - COEFICIENTES ESTIMADOS PARA OS SEIS MODELOS HIPSOMÉTRICOS TESTADOS PARA CADA CLONE E ESPAÇAMENTO		88
APÊNDICE B - DISTRIBUIÇÃO GRÁFICA DOS RESÍDUOS DE ALTURA EM FUNÇÃO DO DAP PARA OS MODELOS AJUSTADOS PARA CADA CLONE E ESPAÇAMENTO.....		96
APÊNDICE C – ADAPTAÇÃO DA TABELA DE ENTRADA DOS DADOS.....		107

1 INTRODUÇÃO GERAL

A indústria florestal brasileira tornou-se referência devido à sua atuação pautada pela inovação, sustentabilidade e competitividade. As florestas plantadas, além de serem fonte dos mais variados produtos como celulose, papel, painéis, carvão vegetal e outros inúmeros produtos que compõe o dia a dia da população, desempenham o papel de mitigar os efeitos causados pelas mudanças climáticas, e provem serviços ambientais, tais quais o sequestro de carbono e controle da erosão (IBÁ, 2017).

O setor brasileiro de árvores plantadas possuía no ano de 2018, 7,84 milhões de hectares de área plantada. Desdobrando este total em segmentos industriais, é observado que 35% deste montante são de plantios destinados a produção de celulose e papel, 30% pertencem a produtores independentes, 13% a produção de carvão vegetal e os outros 22% são representados por investidores financeiros, painéis e pisos laminados, produtos sólidos e demais segmentos minoritários. O setor brasileiro de árvores plantadas, é responsável por 91% de toda a madeira destinada à indústria do País, além de apresentar 6,2% do produto interno bruto (PIB) industrial brasileiro (IBÁ, 2018).

Para que o setor se mantenha com alta produtividade e gradativamente aumente seu potencial de crescimento, é necessário lançar mão de novas tecnologias e ferramentas que possibilitem a correta avaliação de todos os fatores que possam intervir no desempenho das florestas. Estes altos índices de produtividade que permitem que o Brasil ocupe posição de destaque estão intrinsecamente vinculados às condições de solo, clima e sobretudo pelas técnicas de manejo e desenvolvimento de clones produtivos e adaptados às diferentes condições edafoclimáticas presentes no País (MAGALHÃES et al., 2007; MARTINS; SEIXAS; STAPE, 2009).

Clones altamente produtivos não garantem alta produtividade se não manejados de forma correta e eficiente. Pois, o desempenho de uma floresta é dependente de fatores como local de plantio, idade, tratamentos silviculturais, espaçamento e espécie. Por sua vez, estes fatores podem afetar de forma direta a produtividade e qualidade da madeira (PROTÁSIO et al., 2014; MOULIN et al., 2015). A escolha do espaçamento de plantio deve ser realizada de forma criteriosa, uma vez que, este fator influencia diretamente na resposta de quaisquer espécies ou clones utilizados. Desta forma, o espaçamento ideal é aquele que proporciona o maior crescimento dos indivíduos sem desperdício de área.

Ainda no âmbito das influências causadas pelos diversos fatores inerentes aos fatores ambientais e do povoamento, é observado que a relação existente entre o diâmetro e a altura das árvores, ou seja, a relação hipsométrica, também é influenciada por estes fatores. E desta forma, é recomendado o ajuste de diferentes modelos hipsométricos para cada condição em específico tendo em vista que existem modelos que melhor se adaptam a cada situação (SCOLFORO, 2005; OLIVEIRA et al., 2011).

O espaçamento de plantio enquanto agente causador de flutuações no desempenho de plantas, deve ser analisado e escolhido de forma criteriosa, pois pode favorecer a instabilidade genotípica de um dado material genético e assim, reduzindo a sua performance. Desta forma, a análise da interação genótipo x ambiente onde se considera o espaçamento como agente causal da instabilidade genotípica, torna-se indispensável para a correta seleção e recomendação de materiais genéticos estáveis, adaptados e de ampla utilização.

As análises de adaptabilidade e estabilidade de genótipos, são procedimentos estatísticos que permitem a seleção de genótipos estáveis que apresentem respostas

favoráveis a um determinado ambiente e assim, proporcionam maior confiabilidade quanto a recomendação destes materiais para esse ambiente (ROSADO et al., 2012; SANTOS et al., 2016; TEODORO et al., 2016). Oliveira et al. (2018) reforçam que para a correta seleção de um material genético produtivo, é necessário que se conheça o efeito do ambiente sobre ele.

A utilização de métodos estatísticos mais refinados como o método de modelos lineares mistos fornece parâmetros adicionais, que auxiliam na seleção de genótipos superiores para os caracteres de interesse. Os componentes de variância e a predição dos valores genéticos tornam-se possíveis por meio de estimativas realizadas pelos procedimentos da máxima verossimilhança restrita (REML) e do melhor preditor linear não viesado (BLUP). Desta forma, obtém-se estimativas de maior confiabilidade, devido a este procedimento ser considerado o procedimento ótimo para seleção genética (RESENDE, 2007).

A fim de elucidar as influências causadas por diferentes espaçamentos em clones de eucalipto, no primeiro artigo deste trabalho procurou-se investigar quais os efeitos causados pelos diferentes espaçamentos nas relações hipsométricas de cinco clones de eucalipto em seis diferentes espaçamentos de plantio. Já o segundo artigo, as avaliações foram pautadas na interação genótipo x espaçamento e suas influências na adaptabilidade e estabilidade genotípica dos clones nos diferentes espaçamentos.

2 REFERÊNCIAS

INDUSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES (IBÁ). **Relatório anual IBÁ 2017**. Disponível em <http://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA_RelatorioAnual2017.pdf>. Acesso em 24, jun. 2019.

INDUSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES (IBÁ). **Sumário executivo IBÁ 2018**. Disponível em <<https://www.iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/digital-sumarioexecutivo-2018.pdf>>. Acesso em 24, jun. 2019.

MAGALHAES, W. M.; MACEDO, R. L. G.; VENTURIN, N.; HIGASHIKAWA, E. M.; JÚNIOR, M. Y. Desempenho Silvicultural de Clones e Espécies/Procedências de *Eucalyptus* na Região Noroeste de Minas Gerais. **Revista Cerne**, Lavras, v.13, n.004, p.368-375, 2007.

MARTINS, R. J.; SEIXAS, F.; STAPE, J. L. Avaliação técnica e econômica de um harvester trabalhando em diferentes condições de espaçamento e arranjo de plantio em povoamento de eucalipto. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 37, n.83, p. 253-263, set. 2009.

MOULIN, J. C.; ARANTES, M. D. C.; VIDAURRE, G. B.; PAES, J. B.; CARNEIRO, A. C. O. Efeito do espaçamento, da idade e da irrigação nos Componentes químicos da madeira de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, v.39, n.1, p.199-208, 2015.

OLIVEIRA, F. G. R. B.; SOUSA, G. T. O.; AZEVEDO, G. B.; BARRETO, P. A. B. Desempenho de modelos hipsométricos para um povoamento de *Eucalyptus urophylla* no município de Jaguaquara, Bahia. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v.7, n.13, p.331-338, 2011.

OLIVEIRA, T. W. G.; PAULA, R. C.; MORAES, M. L. T.; ALVARES, C. A.; MIRANDA, A. C.; SILVA, P. H. M. Stability and adaptability for wood volume in the selection of *Eucalyptus*

saligna in three environments. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.53, n.5, p.611-619, maio 2018. DOI: 10.1590/S0100-204X2018000500010.

PROTÁSIO, T. P.; NEVES, T. A.; REIS, A. A.; TRUGILHO, P. F. Efeito da idade e clone na qualidade da madeira de *Eucalyptus* spp visando à produção de bioenergia. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.24, n.2, p.465-477, 2014.

RESENDE, M. D. V. **SELEGEN-REML/BLUP**: sistema estatístico e seleção genética computadorizada via modelos lineares mistos. 1. ed. Colombo: Embrapa Florestas, 2007, p.360. ISBN 978-85-89281-16-4.

ROSADO, A. M.; ROSADO, T. B.; ALVES, A. A.; LAVIOLA, B. G.; BHERING, L. L. Seleção simultânea de clones de eucalipto de acordo com produtividade, estabilidade e adaptabilidade. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.47, n.7, p.964-971, jul. 2012.

SANTOS, G. A.; NUNES, A. C. P.; RESENDE, M. D. V.; SILVA, L. D.; HIGA, A.; ASSIS, T. F. An index combining volume and Pilodyn penetration to study stability and adaptability of *Eucalyptus* multi-species hybrids in Rio Grande do Sul, Brazil. **Australian Forestry**, v.79, p.248-255, 2016. DOI: 10.1080/00049158.2016.1237253.

SCOLFORO, J. R. S. **Biometria Florestal**: Parte I: modelos de regressão linear e não linear; Parte II: modelos para relação hipsométrica, volume, afilamento e peso de matéria seca. 1 1ed. Lavras, UFLA/FAEPE, 2005. p.352.

TEODORO, P. E.; BHERING, L. L.; COSTA, R. D.; ROCHA, R. B.; LAVIOLA, B. G. Mixed models for selection of *Jatropha* progenies with high adaptability and yield stability in Brazilian regions. **Genetics and Molecular Research**, v.15, p. 9, ago. 2016. DOI: 10.4238/gmr.15038824.

ARTIGO 1- MODELAGEM HIPSOMÉTRICA EM PLANTIO CLONAL DE *Eucalyptus* spp. e *Corymbia* spp. EM DIFERENTES ARRANJOS DE PLANTIO

ARTICLE 1 - HYPOMETRIC MODELING IN CLONAL PLANTS OF *Eucalyptus* spp. e *Corymbia* spp. IN DIFFERENT PLANTING ARRANGEMENTS

RESUMO

A relação hipsométrica pode ser afetada não somente pelo espaço vital de crescimento, mas também pelo arranjo de plantio utilizado. Este trabalho, objetivou avaliar o ajuste de seis modelos hipsométricos lineares, compará-los e selecionar o melhor modelo para cada um dos cinco clones (parcelas) em seis diferentes espaçamentos (subparcelas) a fim de obter a altura total. O experimento foi conduzido em uma área experimental no delineamento de blocos casualizados em esquema de parcelas subdivididas. Os caracteres altura total e circunferência a altura do peito (CAP), foram mensuradas em cada espaçamento. A avaliação dos modelos consistiu nos seguintes critérios de seleção: Teste F (α 5%), Coeficiente de Determinação Ajustado ($R^2_{aj.}$ %), Erro Padrão da Estimativa Absoluto (S_{yx}) e Percentual ($S_{yx}\%$), Gráfico de Resíduos e Desvio médio percentual (DMP%). Baseado nas medidas de precisão, os modelos $\ln(HT) = \beta_0 + \beta_1 1/DAP$ e $\ln(HT) = \beta_0 + \beta_1 \ln(DAP) + \beta_2 (1/DAP)$, se apresentaram adequados para maioria dos clones e espaçamentos.

Palavras-Chave: Altura total; Modelos lineares; Modelagem florestal; Espaçamentos.

ABSTRACT

The hypsometric relation can be affected not only by the vital growth space, but also by the planting arrangement used. This work aimed to evaluate the fit of six linear hypsometric models, compare them and select the best model for each of the five clones in six different spacings in order to obtain the total height. The experiment was conducted in an experimental area in a randomized complete block design in subdivided plots. The characters total height and chest height circumference (CHC) were measured on each subplot. The data was processed in Excel software. The evaluation of the models consisted of the following selection criteria: Test F (α 5%), Adjusted Determination Coefficient ($R^2_{aj.}$), Standard Error of Absolute Estimation (Syx) and Percentage (Syx%), Waste Graphic and Mean Percent Deviation (WMD%). Based on the precision measurements, models five and six were suitable for most clones and spacings.

Keywords: Total height; Linear models; Forest modeling; Different spacings.

1 INTRODUÇÃO

Os inventários florestais têm por finalidade fornecer informações referentes aos recursos florestais presentes em uma determinada área. De maneira tal que, possibilite a quantificação de estoques dos povoamentos e a elaboração de um adequado plano de manejo. Nesse processo a obtenção de caracteres dendrométricos como diâmetro, altura e volume apresentam grande importância por possibilitarem a obtenção de informações a respeito da floresta. E, permitem o estabelecimento de metas a serem cumpridas ao longo do ciclo de corte (JESUS et al., 2012). Dentre os caracteres dendrométricos utilizados, a obtenção da altura total se mostra como o mais oneroso (comparado ao diâmetro), devido à dificuldade de observação do ápice. Dificuldade esta, que se agrava em plantios adensados, topografia irregular e com a presença de sub-bosque desenvolvido. Estas situações podem aumentar substancialmente o tempo e custo da coleta de dados, e, aumentar o viés no inventário. Uma maneira de contornar esses impasses é com a aplicação da relação hipsométrica (MIGUEL et. al., 2018).

Considerada como um instrumento essencial para boa prática do inventário florestal, a relação hipsométrica consiste na construção de uma curva altura-diâmetro. Assim, por meio de medições de diâmetro e altura dos indivíduos de uma parcela, é possível utilizar modelos matemáticos lineares e/ou não lineares, para se estimar a altura dos indivíduos que se encontram fora da parcela, devido à relação hipsométrica existente entre estas variáveis (KER; SMITH, 1957; BATISTA; COUTO; MARQUESINI, 2001; MIGUEL et. al., 2018) O que resulta na redução de custos no inventário.

Neste contexto, a escolha de modelos que melhor se ajustam ao povoamento, é de fundamental importância, pois há fatores como tipologia florestal, espaçamento, sítio,

heterogeneidade ambiental e estrutural, que influenciam de forma direta nos padrões hipsométricos. O que corrobora para obtenção de relações distintas e torna cada plantio único (BARROS; ACERBI; SCOLFORO., 2002; OLIVEIRA et. al., 2011; BATISTA; COUTO; FILHO, 2014). Devido à natureza desta relação, não é indicado a utilização de apenas um modelo hipsométrico para a estimativa da altura em um plantio, uma vez que, diferenças dentro de um mesmo sítio e atividade como tratos silviculturais podem promover uma alteração desta relação, além também do avanço da idade de plantio.

Dentre estes fatores, o espaçamento tem contribuição especial por influenciar a morfologia e crescimento das árvores (SOUZA, 2004). Diferentes espaçamentos fornecem diferentes densidades de plantio, o que afeta diretamente a competição entre as plantas. Uma vez que, a concorrência afeta mais o crescimento em diâmetro que em altura, assim, promove-se a alteração da relação hipsométrica (BARTOSZECK et al., 2004).

Nesse sentido, o espaçamento de plantio ideal é aquele que influencia de forma positiva a taxa de crescimento do povoamento e que proporciona uma menor idade de corte, atrelado a qualidade da madeira, tornando-a apta para uso (KEARNEY et. al., 2007; MAGALHÃES et. al., 2007). Conhecer a dinâmica de crescimento e as interações da floresta é fundamental, pois torna possível, definir as medidas necessárias a fim de aumentar a produtividade (LIMA et. al., 2013).

Neste contexto, estudos envolvendo ajustes de modelos hipsométricos, em diferentes espaçamentos, de espécies florestais que possuam valor comercial tornam-se importantes para o setor florestal. Desta forma, este trabalho teve como objetivo o ajuste, comparação e seleção de modelos hipsométricos lineares para a estimativa da variável

altura em um povoamento clonal de *Eucalyptus* spp. e *Corymbia* spp., sob diferentes espaçamentos de plantio.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido em um plantio experimental, de 48 meses de idade, pertencente à empresa Aperam Bioenergia S/A, localizada no município de Itamarandiba, região do Vale do Jequitinhonha – MG. A área experimental está localizada nas coordenadas 17°46'22" S e 42°54'12" W, a uma altitude de 946m.

O clima da região segundo classificação de Koppen é o Cwa, caracterizado como tropical de altitude, temperado úmido, com duas estações bem definidas, verão quente e inverno seco. A região possui uma temperatura média de 21,2 °C, a umidade relativa média do ar varia entre 60% a 70% e a média pluviométrica anual histórica é de 1.132mm (INMET, 2019). O bioma predominante na região é o Cerrado.

O experimento foi implantado em delineamento em blocos ao caso com seis repetições, em arranjo de parcelas subdivididas. Onde plantas de cinco clones de eucalipto compuseram a parcela experimental (TABELA 1). E seis espaçamentos de plantio definiram a subparcela (TABELA 2).

Entra Tabela 1.

Entra Tabela 2.

Para a mensuração da altura total (HT), foi utilizado um clinômetro digital marca Haglof. Para a mensuração da circunferência a altura do peito (CAP) foi utilizada uma fita métrica.

As mensurações do CAP foram realizadas em todas as plantas das subparcelas em todos os seis blocos, já as mensurações de altura foram realizadas sempre medindo uma linha de plantio da subparcela e saltando a linha subsequente.

Sequencialmente os dados foram processados no software Excel, onde os dados de CAP foram transformados em diâmetro a altura do peito (DAP). De posse destes dados, foram ajustados pelo método dos mínimos quadrados ordinários, seis modelos hipsométricos tradicionais, para cada clone em cada espaçamento, conforme Tabela 3.

Para a seleção do melhor modelo ajustado, para a estimativa da HT para cada clone em cada espaçamento, foram adotados os critérios tradicionais para a verificação da qualidade do ajuste, sendo: coeficiente de determinação ajustado ($R^2_{aj.}\%$), erro padrão da estimativa absoluto e em percentagem ($S_{yx}\%$), desvio médio percentual (DMP%), valor teste F a 5% de significância e análise gráfica dos resíduos.

Entra Tabela 3.

Entra Tabela 4.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os seis modelos testados para o ajuste da relação hipsométrica dos cinco clones, nos seis espaçamentos, totalizaram 180 ajustes (APÊNDICE A e B). Na Tabela 5, é possível observar os coeficientes obtidos para o melhor modelo ajustado para cada clone e espaçamento, a fim de obter a estimativa do caráter HT em função do DAP. Nesta mesma tabela, são apresentadas as estimativas de ajuste e precisão, além dos referidos valores da estatística F e DMP%, para os referidos ajustes.

Entra Tabela 5.

Ao analisar os resultados da Tabela 5, observa-se que o coeficiente de determinação ajustado ($R^2_{aj.}\%$), para uma significativa parcela dos diferentes modelos selecionados e tidos como os melhores, apresentaram valores acima de 75%. O que permite verificar que os modelos testados podem ser considerados como satisfatórios. Devido à dificuldade este valor em condições ótimas apresentar-se superior a 75% (FINGER, 1992; MIGUEL, 2009; CAMPOS; LEITE, 2013). Uma melhoria destes resultados pode ser esperada segundo Miguel et. al., (2018), pois com o avançar da idade a relação hipsométrica tende a ser mais forte e desta forma, apresentar uma melhoria das estatísticas obtidas por estes modelos, assim, abrindo perspectivas para obtenção de melhores ajustes para o povoamento em questão, em idades mais avançadas. Os modelos cinco (Curtis²) e seis (Silva) se mostraram válidos para diferentes composições clone e espaçamento, apresentando resultados maiores ou iguais a 75% para $R^2_{aj.}\%$, erro padrão da estimativa ($Syx\%$) menores que 10% e F significativo. O que permite inferir sua aplicabilidade a diferentes composições.

O modelo quatro (Stoffels) foi selecionado para a estimativa do caráter altura no clone um no espaçamento 3x3 e clone dois nos espaçamentos 3x3, 6x0,5 e 6x1,5. Mesmo apresentando valores de $R^2_{aj.}\%$ abaixo do esperado, apresentaram bons resultados para $Syx\%$ e com regressão significativa a 5% de significância (teste F), assim justificando a sua escolha. Os modelos um (Torey) e dois (Linha reta), também foram selecionados para o clone quatro no espaçamento 6x0,75 e clone um no espaçamento 6x1,5 respectivamente, onde os critérios para avaliação, foram os mesmos para os modelos que apresentaram baixos valores de $R^2_{aj.}\%$.

O erro padrão da estimativa percentual ($Syx\%$), para os diferentes ajustes se mostraram confiáveis, tendo em vista que o erro associado a estimava do caráter altura apresentou-se menor que 10% em todos os modelos selecionados, corroborando com afirmativas de autores como Miguel (2009), onde afirma que erros inferiores a 10% para estimativas da variável altura são desejáveis, porém nem sempre são alcançados. Em estudos sobre relação hipsométrica encontrados na literatura, comumente são encontrados valores de $Syx\%$ acima de 10% como em Retslaff et al., (2015) e Santos et al., (2014) estudando relações hipsométricas em plantios de eucalipto. Porém, em alguns casos, pode-se encontrar valores abaixo de 10% como em Souza, Santos e Souza, (2017) e Miguel et al., (2018).

Os resultados apresentados permitem afirmar que o modelo três (Curtis¹), não se adequou aos diferentes clones nos diferentes espaçamentos. Este fato pode ser devido, a este modelo não conseguir captar de forma adequada, a relação hipsométrica existente nas composições testadas na idade a qual se encontram. Esta hipótese, pode ser confirmada ao observar que este modelo vem sendo utilizado em diversos estudos como em Souza, Santos e Souza, (2017) e Santos et al., (2014) trabalhando em um povoamento híbrido de eucalipto com 8 e 6 anos de idade respectivamente, e Barros et al., (2002) trabalhando com *Pinus oocarpa* em diferentes tratamentos, com idades entre 5 a 25 anos.

Nos espaçamentos mais amplos entre linhas (6x0,5, 6x0,75 e 6x1,5) é evidente que houve uma ligeira redução da precisão das estimativas, quando comparadas aos espaçamentos menores (3x1, 3x,5 e 3x3). Assim, torna-se conveniente ressaltar que, as densidades de plantio são as mesmas quando se compara os espaçamentos mais amplos com os mais adensados. Desta forma, é evidenciado que não somente o espaço vital de

crescimento (m^2/planta) influencia nesta relação, mas também a configuração da linha de plantio.

Em algumas composições de plantio, os modelos testados não se ajustaram adequadamente, demonstrando a necessidade de se utilizar diferentes modelos presentes na literatura, tais como aqueles que consideram a idade e sítio, além de se avaliar estes indivíduos em uma idade mais avançada.

Como etapa da seleção dos modelos, foi realizada a análise gráfica dos resíduos em função do DAP, para cada clone em cada espaçamento de plantio, conforme Figura 1.

Entra Figura 1.

Scolforo (2005) cita que, ao realizar a análise de distribuição dos resíduos, é esperado que se observe uma tendência consistente em relação a proporcionalidade de variação entre os caracteres HT e DAP. Desta forma, os resultados obtidos demonstram que no geral, não há significativa tendenciosidade para a maior parte dos modelos ajustados para as diferentes composições clone e espaçamento.

Ao analisar graficamente estes modelos, foi possível observar leves tendências nos modelos selecionados para cada clone e espaçamento. Desta forma, é observado que mesmo com coeficientes de determinação acima de 75% como no clone 1 espaçamentos 3x1 e 6x0,5, clone 3 nos espaçamentos 3x1 e 6x0,5 e clone 4 espaçamento 6x1,5, se observa uma heterogeneidade dos resíduos ao longo da linha de regressão, apresentando leve tendência a subestimar e superestimar com maior frequência a altura de indivíduos nos menores diâmetros. Porém, no clone 1 nos espaçamentos 3x1,5 e 6x0,75, clone 3 nos espaçamentos 3x1,5, 3x3 e 6x0,75, clone 4 nos espaçamentos 3x1,5 e 3x3 e clone 5 nos espaçamentos 3x1, 3x3 e 6x1,5, é observado uma maior homogeneização dos resíduos

ao longo da linha de regressão, apesar que, no geral ainda existam uma pequena tendência de superestimar e subestimar as alturas de alguns indivíduos.

Modelos hipsométricos mais simples como os modelos 2 e 5 se mostraram eficientes na estimativa da altura, em algumas das composições clone e espaçamento. Embora em alguns casos não tenham apresentado um coeficiente de determinação acima de 75%, estes foram considerados bons, pois apresentaram um aceitável valor do erro (<10%) e uma boa homogeneização dos resíduos ao longo da linha de regressão. Até mesmo em salvos casos onde é observada uma ligeira amplitude dos desvios.

Para todos os modelos selecionados o erro de superestimar ou subestimar a altura dos indivíduos estiveram entre 65 a -50%. Também, mediante análise gráfica, foi possível observar que os modelos 6 e 5 apresentam-se levemente mais favoráveis que os demais modelos, devido a no geral apresentarem maior homogeneização dos resíduos ao longo da linha de regressão.

Conforme citado na metodologia, a seleção do melhor modelo para cada situação foi realizada perante análise dos critérios $R^2_{aj.}$ %, Syx %, F , análise gráfica dos resíduos e por fim a análise DMP% a fim de complementar a escolha dos melhores modelos. Entretanto, as análises dos critérios R^2 , Syx %, F e DMP% tomaram uma maior importância neste estudo. Devido aos gráficos de resíduos serem avaliados de forma visual, torna a análise subjetiva e em alguns casos poderá favorecer o surgimento de dúvidas quanto à distribuição dos resíduos. Desta forma, foi realizada a análise DMP%, a fim verificar se as tendências observadas para as estimativas das alturas são significativas.

Os resultados de DMP% flutuaram entre 0,00 a 0,01% em todos os modelos selecionados para os clones e espaçamentos estudados, demonstrando perante análise

numérica, que as tendências observadas através da análise gráfica não foram significativas para os modelos selecionados. Quanto mais próximo de zero for o valor de DMP%, menor será a tendência existente nas estimativas de um determinado modelo.

4 CONCLUSÕES

É viável a utilização de modelos hipsométricos, para estimativas da variável altura total em plantios clonais de *Eucalyptus cloeziana* e de híbridos de *C. torelliana* x *C. citriodora*, *C. citriodora* x *C. torelliana* e *E. urophylla* x (*E. camaldulensis* x *E. grandis*) plantados em diferentes espaçamentos.

As estatísticas de ajuste e precisão dos modelos testados, além dos gráficos residuais, de forma geral, foram consideráveis e aceitáveis.

O modelo três não se adequou às diferentes composições clone x espaçamento.

A configuração da linha de plantio influencia na relação hipsométrica, mesmo em espaçamentos que conferem o mesmo espaço vital de crescimento.

Os modelos um, dois e três não foram satisfatórios para a maior parte dos espaçamentos. Mas os modelos quatro, cinco e seis foram adequados para a maior parte das composições clone x espaçamento.

5 REFERÊNCIAS

- BARROS, M. S. A.; ACERBI, F. W. J.; SCOLFORO, J. R. S. Comportamento de modelos hipsométricos tradicionais e genéricos para plantações de *Pinus oocarpa* em diferentes tratamentos. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 45, p. 3-28, jul./dez. 2002.
- BARTOSZECK, A. C. P. S.; MACHADO, S. A.; FILHO, A. F.; OLIVEIRA, E. B. Dinâmica da relação hipsométrica em função da idade, do sítio e da densidade inicial de

povoamentos de Bracatinga da região metropolitana de Curitiba, PR. **Revista Árvore**, v.28, n.4, p. 517-533, 2004.

BATISTA, J. L. F.; COUTO, H. T. Z.; FILHO, D. F. S. **Quantificação de recursos florestais: árvores, arvoredos e florestas**. 1 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2014. p. 384. ISBN 9738579751530.

BATISTA, J. L. F.; COUTO, H. T. Z.; MARQUESINI, M. Desempenho de modelos de relações hipsométricas: estudo em três tipos de floresta. **Scientia forestalis**, n.60, p. 149-163, dez. 2001.

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração Florestal: Perguntas e Respostas**. 3 ed. Viçosa, Editora UFV, 2013. p. 407. ISBN 8572691251.

FINGER, C.A.G. Fundamentos de Biometria Florestal. 1d. Santa Maria, UFSM/CEPEF/FATEC, 1992. p. 269.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). Rede DE estações automáticas INMET. Disponível em:
<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home/page&page=rede_estacoes_auto_graf>. Acesso em: 05 fev. 2019.

JESUS, C. M.; MIGUEL, E. P.; LEAL, F. A.; ENCINAS, J. I. Avaliação de diferentes hipsômetros para medição da altura total em um povoamento clonal de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v.8, n.15, p. 291-299, 2012.

KEARNEY, D.; JAMES, R.; MONTAGU, K.; SMITH, R. G. B. The effect of initial planting density on branching characteristics of *Eucalyptus pilularis* and *E. grandis*. **Australian Forestry**, v.70, n.4, p. 262-268, 2007. DOI 10.1080/00049158.2007.10675028.

- KER, J.; SMITH, J. Sampling for height-diameter relationships. **Journal of forestry**, Vancouver, v.55, n.3, p. 205-207, mar.1957. DOI 10.1093/jof/55.3.205.
- LIMA, R.; INOUE, M. T.; FIGUEIREDO, A. F.; ARAÚJO, A. J.; MACHADO, S. A. Efeito do espaçamento no desenvolvimento volumétrico de *Pinus taeda* L. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v.20, n.2, p. 223-230, jun. 2013. ISSN 2179-8087.
- MAGALHÃES, W. M.; MACEDO, R. L. G.; VENTURIN, N.; HIGASHIKWA, E. M.; YOSHITANI, M. J. Desempenho silvicultural de clones e espécies/procedências de *Eucalyptus* na Região Noroeste de Minas Gerais. **Revista Cerne**, Lavras, v.13, n.4, p. 368-375, out./dez. 2007. ISSN 01047760.
- MIGUEL, E. P. **Avaliação biométrica e prognose da produção de *Eucalyptus urophylla* (S.T. Blake) na região norte do estado de goiás**. 2009. 165f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná; Curitiba, 2009.
- MIGUEL, E. P.; SILVA, L. D. D.; PANIAGO, G. F.; GODINHO, O. L.; ONO, H. A.; PEGORATO, M. L.; LEAL, A. J. F.; PIREZ, J. Modelagem Hipsométrica em Povoamentos Híbrido Clonal de *Eucalyptus*. **Revista Agrarian**, Dourados, v.11, n.40, p. 159-167, 2018. DOI 10.30612/agrarian.v11i40.3324.
- OLIVEIRA, F. G. R. B.; SOUSA, G. T. O.; AZEVEDO, G. B.; BARRETO, P. A. B. Desempenho de modelos hipsométricos para um povoamento de *Eucalyptus urophylla* no município de Jaguaquara, Bahia. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v.7, n.13, p.331-338, 2011.
- RETSLAFF, F. A. S.; FILHO, A. F.; DIAS, A. N.; BERNETT, L. G.; FIGURA, M. A. Curvas de sítio e relações hipsométricas para *Eucalyptus grandis* na região dos Campos Gerais,

Paraná. **Revista Cerne**, Lavras, v.21, n.2, p.219-225, 2015. DOI 10.1590/01047760201521021349.

SANTOS, M. L.; NETO, A. B. B.; PAUMGARTTEN, A. E. A.; RODRIGUES, R. P.; SANTOS, C. R. Estimativa da relação hipsométrica para um povoamento de *Eucalyptus "urograndis"* no município de Mojú, nordeste paraense. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v.10, n.19, p.1039-1048, dez. 2014.

SCOLFORO, J. R. S. **Biometria Florestal**: Parte I: modelos de regressão linear e não linear; Parte II: modelos para relação hipsométrica, volume, afilamento e peso de matéria seca. 1 1ed. Lavras, UFLA/FAEPE, 2005. p.352.

SOUZA, A. S.; SANTOS, J. X.; SOUZA, D. V. Modelagem da relação hipsométrica para um povoamento híbrido de eucalipto na Amazônia brasileira. **Biofix Scientific Journal**, Paraná, v.2, n.1, p.44-54, 2017. DOI 10.5380/biofix.v2i1.51395.

SOUZA, C. C. **Modelo de crescimento com variáveis ambientais, para o Ipê felpudo em diferentes espaçamentos**. 2004. 114 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola superior de agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2004.

Tabela 1. Material genético utilizado no estudo.**Table 1.** Genetic material used in the study.

Clone	Material genético
C1	<i>Eucalyptus cloeziana</i>
C2	Híbrido espontâneo de <i>Corymbia torelliana</i> x <i>Corymbia citriodora</i>
C3	Híbrido espontâneo de <i>Corymbia citriodora</i> x <i>Corymbia torelliana</i>
C4	Híbrido espontâneo de <i>Eucalyptus urophylla</i>
C5	Híbrido de polinização controlada de <i>Eucalyptus urophylla</i> x (<i>E. camaldulensis</i> x <i>E. grandis</i>)

Tabela 2. Espaçamentos, espaços vitais de crescimento e densidade de plantas por hectare utilizados no estudo.**Table 2.** Spaces, vital growth spaces and plant density per hectare used in the study.

Espaçamentos (mxm)	Espaço vital de crescimento (m ² /planta)	Densidade (plantas/ha)
3x3	9,0	1111
3x1,5	4,5	2222
3x1	3,0	3333
6x1,5	9,0	1111
6x0,75	4,5	2222
6x0,5	3,0	3333

Tabela 3. Modelos hipsométricos ajustados para a estimativa do caráter altura total (HT).**Table 3.** Hypsometric models adjusted for the estimation of the total height (HT) character.

Nº	Denominação/Autor	Modelos
1	Trorey	$HT = \beta_0 + \beta_1 DAP + \beta_2 DAP^2 + e$
2	Linha reta	$HT = \beta_0 + \beta_1 DAP + e$
3	Curtis ¹	$HT = \beta_0 + \beta_1 1/DAP + e$
4	Stoffels	$\ln(HT) = \beta_0 + \beta_1 \ln(DAP) + e$
5	Curtis ²	$\ln(HT) = \beta_0 + \beta_1 1/DAP + e$
6	Silva	$\ln(HT) = \beta_0 + \beta_1 \ln(DAP) + \beta_2 (1/DAP) + e$

Ln: logaritmo natural; HT: altura total da árvore (m); DAP: diâmetro a altura do peito (cm);

β_0 , β_1 , β_2 : coeficientes a serem obtidos.

Tabela 4. Critérios para escolha do melhor modelo para estimativa da altura total (HT), em função do diâmetro a altura do peito (DAP).**Table 4.** Criteria for choosing the best model to estimate total height (HT), as a function of diameter at breast height (DBH).

Critério	Equação
Coeficiente de determinação	$R^2 = \frac{SQ \text{ Regressão}}{SQ \text{ Total}}$
Coeficiente de determinação ajustado	$R^2_{aj.} = 1 - \left[(1 - R^2) \left(\frac{n-1}{n-p} \right) \right]$
Erro padrão da estimativa	$S_{yx} = \sqrt{\frac{\Sigma(h - \hat{h})^2}{n-p}}$

Continuação...

Erro padrão da estimativa %	$Syx\% = \frac{Syx}{\bar{h}} * 100$
Percentual de resíduos	$rr\% = \frac{(h - \hat{h})}{h}$
Desvio médio percentual	$DMP\% = \frac{\Sigma \left(\frac{O - E}{O} \right)}{n} * 100$

SQ : soma de quadrados; n : número de observações; p : número de coeficientes da regressão; h : altura observada; \hat{h} : altura estimada; \bar{h} : altura média observada; O : valores observados (altura real); E : valores estimados (altura estimada pelo modelo).

Tabela 5. Coeficientes estimados para os modelos hipsométricos que melhor se ajustaram para cada clone e espaçamento.**Table 5.** Estimated coefficients for the hypsometric models that best fit for each clone and spacing.

Clone	Esp.	Modelo	β_0	β_1	β_2	R^2	$R^2_{aj.}\%$	Syx	Syx%	DMP%	F
C1	3x1	6	2,2692	0,2402	-1,5532	0,88	87,64	1,09	8,39	0,00	561,35**
	3x1,5	6	4,4267	-0,4913	-6,5283	0,81	80,85	1,05	7,67	0,00	190,98**
	3x3	4	1,6304	0,4009	-	0,39	37,79	1,07	7,97	0,00	27,12**
	6x0,5	6	1,6526	0,4978	-1,0777	0,92	91,48	1,15	9,34	0,00	554,14**
	6x0,75	5	2,9237	-3,0847	-	0,81	80,57	1,10	8,75	0,00	208,35**
	6x1,5	2	10,7126	0,2460	-	0,22	20,94	1,01	7,56	0,00	19,27**
C2	3x1	6	1,9177	0,3926	-1,4256	0,72	71,65	1,09	8,08	0,00	252,48**
	3x1,5	5	2,9453	-3,0407	-	0,54	53,77	1,06	7,61	0,00	126,63**
	3x3	4	1,4585	0,4739	-	0,57	56,37	1,08	7,94	0,00	70,78**
	6x0,5	4	1,2160	0,6363	-	0,61	60,58	1,16	9,11	0,00	210,00**
	6x0,75	5	3,0277	-3,9776	-	0,74	73,26	1,09	8,01	0,00	190,06**
	6x1,5	4	1,2274	0,6014	-	0,30	28,95	1,13	7,75	0,00	32,78**
C3	3x1	5	3,0570	-3,0619	-	0,77	76,48	1,08	7,11	0,00	661,07**
	3x1,5	5	3,0540	-3,3735	-	0,84	83,47	1,05	6,82	0,00	571,59**
	3x3	5	2,9742	-2,7964	-	0,88	88,24	1,06	6,82	0,00	466,08**
	6x0,5	6	2,0563	0,3378	-1,3009	0,83	82,86	1,14	8,20	0,00	320,12**
	6x0,75	5	3,0124	-3,2543	-	0,83	82,76	1,07	7,19	0,00	356,33**
	6x1,5	5	3,0506	-3,6222	-	0,49	47,99	1,08	6,79	0,00	76,65**
C4	3x1	5	3,2875	-4,0540	-	0,67	67,17	1,07	6,09	0,00	387,62**
	3x1,5	6	4,6466	-0,4024	-8,2082	0,78	77,57	1,06	5,72	0,00	182,56**
	3x3	4	1,2570	0,6541	-	0,95	94,63	1,07	5,86	0,00	1040,36**
	6x0,5	5	3,3928	-5,4947	-	0,70	69,42	1,10	6,95	0,00	298,37**
	6x0,75	1	-31,5136	8,4600	-0,3576	0,50	48,71	1,61	9,27	0,00	34,72**
	6x1,5	4	1,3866	0,6095	-	0,76	75,28	1,06	5,53	0,00	229,41**

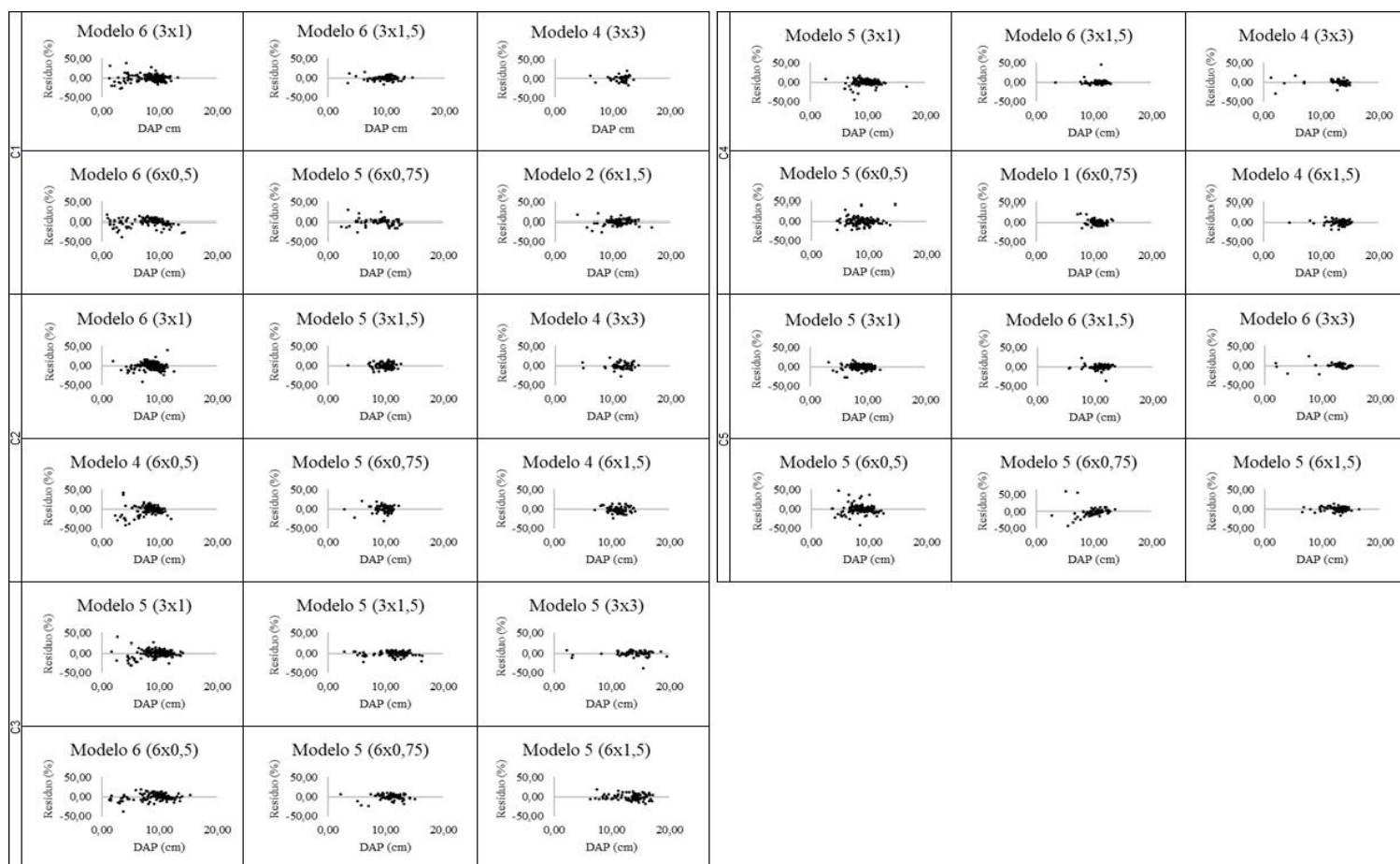
Continuação...

C5	3x1	5	3,2962	-4,9794	-	0,86	85,84	1,05	6,83	0,00	1177,51**
	3x1,5	6	6,5357	-1,0025	-14,0600	0,70	69,18	1,05	6,19	0,00	121,10**
	3x3	6	1,9599	0,4111	-1,7066	0,96	95,51	1,06	6,19	0,00	565,14**
	6x0,5	5	3,3116	-5,1803	-	0,66	65,29	1,13	7,71	0,00	245,52**
	6x0,75	5	3,0559	-2,3572	-	0,22	20,48	1,18	7,03	0,01	20,06**
	6x1,5	5	3,4051	-6,4889	-	0,79	78,23	1,05	5,96	0,00	277,68**

Esp.: espaçamento; R²: coeficiente de determinação; R²aj. %: coeficiente de determinação ajustado; Syx: erro padrão da estimativa em metros; Syx%: erro padrão da estimativa percentual; DMP%: desvio médio percentual; F: F calculado ($\alpha=0,05$); (**) significativo para $\alpha=0,05$.

Figura 1. Distribuição gráfica dos resíduos do caráter altura total (HT) em função do diâmetro a altura do peito (DAP) para os modelos selecionados em cada clone e espaçamento.

Figure 1. Graphical distribution of the residuals of the total height (HT) character as a function of diameter at breast height (DBH) for the selected models in each clone and spacing.



**ARTIGO 2 – PRODUTIVIDADE, ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE GENOTÍPICA
DE CLONES DE *Eucalyptus* spp. e *Corymbia* spp. EM DIFERENTES
ESPAÇAMENTOS DE PLANTIO**

**ARTICLE 2 - PRODUCTIVITY, ADAPTABILITY AND STABILITY GENOTYPIC OF
CLONES OF *Eucalyptus* spp. and *Corymbia* spp. IN DIFFERENT PLANT SPACING**

RESUMO

Determinados espaçamentos podem causar instabilidade genotípica e gerar perdas de incremento ao longo do tempo. Neste contexto, a análise da interação genótipo x espaçamento (GxE) se torna indispensável. Objetivou-se avaliar a interação (GxE) em um plantio clonal de eucalipto, bem como avaliar a sua produtividade, adaptabilidade e estabilidade sob diferentes espaçamentos por meio do método da máxima verossimilhança restrita e melhor preditor linear não viesado (REML/BLUP) utilizando as seguintes estratégias: seleção pelo valor genético predito, considerando o desempenho médio dos genótipos entre espaçamentos (sem efeito de interação); Considerando o desempenho em cada espaçamento (com efeito da interação); E seleção simultânea quanto à produtividade, adaptabilidade e estabilidade pelo método da média harmônica da performance relativa dos valores genéticos (MHPRVG). O trabalho foi realizado em um plantio clonal com 48 meses de idade implantado em delineamento em blocos ao caso em arranjo de parcelas subdivididas com seis repetições, onde foram avaliados cinco clones de eucalipto (parcelas) e seis espaçamentos de plantio (subparcelas). Foram avaliados os caracteres diâmetro a altura do peito (DAP), altura total (HT) e volume individual com casca (VOL). As estimativas de variância genética obtidas, indicam a possibilidade de expressivos ganhos com seleção. As herdabilidades estimadas foram de alta magnitude associadas a altas acurácias, indicando a possibilidade de obter expressivos ganhos com seleção. Os três métodos utilizados permitiram a seleção de clones restritos e clones de utilização ampla. O método MHPRVG proporcionou menores ganhos devido a penalizar a instabilidade genotípica entre os clones.

Palavras Chave: Eucalipto, Interação GxE; REML/BLUP; MHPRVG.

ABSTRACT

Certain spacings can cause genotypic instability and generate incremental losses over time. In this context, genotype x spacing (GxS) interaction analysis becomes indispensable. The objective of this study was to evaluate the interaction (GxS) in a clonal eucalyptus plantation, as well as to evaluate its productivity, adaptability and stability under different spacings using the restricted maximum likelihood method and the best nonlinear linear predictor (REML / Blup) using the following strategies: selection by the predicted genetic value, considering the average performance of the genotypes between spacing (without interaction effect); Considering the performance in each spacing (with interaction effect); Simultaneous selection for productivity, adaptability and stability by the harmonic mean relative performance of genetic values (HMRPGV). The work was carried out in a 48-month-old clonal plantation planted in a block design with six replications, in which six eucalyptus clones (plots) and six planting spacing (subplots) were evaluated. Diameter at breast height (DBH), total height (HT) and individual volume with bark (VOL) were evaluated. The estimates of genetic variance obtained indicate the possibility of significant gains with selection. The estimated heritabilities were of high magnitude associated to high accuracy, indicating the possibility of expressive gains with selection. The three methods used allowed selection of restricted clones and clones of wide use. O método HMRPGV proporcionou menores ganhos devido à penalização da instabilidade entre os espaçamentos.

Keywords: Eucalyptus, GxS interaction; REML / BLUP; HMRPGV.

1 INTRODUÇÃO

O espaçamento de plantio refere-se à distância entre as linhas de plantio e entre as plantas nela colocadas. E deve influenciar de forma positiva o crescimento e qualidade da madeira, e proporcionar espaço suficiente para a maximização do crescimento das árvores (KEARNEY et al., 2007; MAGALHÃES et al., 2007; SILVA et al., 2010; LIMA et al., 2013). Entretanto, diferentes espaçamentos formam ambientes distintos e segundo Vendruscolo et al. (2001) podem criar flutuações no desempenho de cultivares. Assim, dificilmente um clone atinge seu máximo desempenho sob diferentes condições de plantio.

Como o ambiente pode afetar a resposta dos materiais genéticos, análises quanto à produtividade, adaptabilidade e estabilidade devido a interação entre genótipo e ambiente (GxE) tornam-se imprescindíveis, por proporcionarem maior confiabilidade quanto a recomendação destes materiais para um determinado ambiente (ROSADO et al., 2012; SANTOS et al., 2016; TEODORO et al., 2016). Autores como Oliveira et al. (2018) reforçam que o conhecimento do efeito do ambiente é fundamental para a seleção de um material genético produtivo. A produtividade enquanto caractere fenotípico resulta da ação do genótipo sob influência do meio, em um determinado ambiente. Ao analisar uma variedade de ambientes, verifica-se, além dos efeitos genéticos e ambientais, o efeito da interação entre os mesmos (CRUZ; CARNEIRO; REGAZZ, 2012; BORÉM; MIRANDA, 2013). Por consequência, a análise da interação GxE é considerada como uma das etapas de maior importância dentro de um programa de melhoramento e também uma das etapas mais importantes em programas de silvicultura clonal em escala comercial. Pois após a identificação e recomendação dos materiais genéticos que

possuem destaque para as características de interesse em diferentes ambientes, é possível realizar o plantio clonal de cada material nos ambientes onde se mostraram mais produtivos (SILVA; DUARTE, 2006; RESENDE, 2007). Assim, tendo em vista à qualidade e produtividade do povoamento o espaçamento apresenta-se, provavelmente, como uma das principais técnicas de manejo.

A utilização de genótipos de ampla adaptabilidade e estabilidade permite mitigar o efeito das interações GxE. Entretanto, é imprescindível que se adote uma metodologia que permita a seleção simultânea para produtividade, adaptabilidade e estabilidade (RESENDE, 2002a, 2002b). Desta forma, a análise com o auxílio do procedimento da máxima verossimilhança restrita (REML) em conjunto com o melhor preditor linear não viesado (BLUP) é considerado o procedimento ótimo. Este procedimento baseia-se nas seguintes premissas: quanto menor o desvio padrão comportamental genotípico entre locais dois a dois, maior será a média harmônica dos seus valores genotípicos entre dois locais, de forma que, ao realizar a seleção por meio dos maiores valores da média harmônica dos valores genotípicos (MHVG) concomitantemente é realizada a seleção para produtividade e estabilidade. Este método realiza o ordenamento dos genótipos simultaneamente por seus valores genéticos e refere-se a um procedimento BLUP sob médias harmônicas (RESENDE, 2007; SILVA et al., 2011; ROSADO et al., 2012).

A seleção dos genótipos quanto a adaptabilidade é realizada pela performance relativa dos valores genotípicos (PRVG) por meio dos ambientes e neste caso, os valores genotípicos preditos são expressos como a proporção da média geral de cada local e em seguida é obtido o valor médio dessa proporção através dos locais. Também é possível a obtenção do valor genotípico médio ($PRVG \cdot \mu$) que se refere à performance genotípica

relativa média multiplicada pela média geral de todos os ambientes (RESENDE, 2007; SILVA et al., 2011; ROSADO et al., 2012).

Ainda através desta metodologia, é possível realizar a seleção considerando o desempenho médio entre os ambientes, em cada ambiente e pela produtividade, adaptabilidade e estabilidade de forma simultânea através da média harmônica da performance relativa dos valores genéticos (MHPRVG) (SILVA et al., 2011; ROSADO et al., 2012). Este último método é similar ao proposto por Lin e Binns (1988), entretanto no contexto genotípico e não fenotípico. Ainda neste método é possível a obtenção do valor genotípico médio penalizado pela instabilidade e capitalizado pela adaptabilidade ($MHPRVG \cdot \mu$) que se refere a MHPRVG multiplicada pela média geral de todos os locais (RESENDE, 2007; SILVA et al., 2011; ROSADO et al., 2012).

O método MHPRVG proporciona a seleção simultânea pelos atributos mencionados e apresenta as seguintes vantagens: (a) considera os efeitos genotípicos como aleatórios e fornece, assim, estabilidade e adaptabilidade genotípica e não fenotípica; (b) admite lidar com experimentos desbalanceados; (c) admite lidar com delineamentos não ortogonais; (d) admite lidar com heterogeneidade de variâncias; (e) admite considerar erros correlacionados dentro de locais; (f) fornece valores genéticos já penalizados da instabilidade; (g) pode ser utilizado com qualquer número de ambientes; (h) admite considerar a estabilidade e adaptabilidade na seleção de indivíduos dentro de progênie; (i) não depende da estimação de outros parâmetros; (j) gera resultados na própria grandeza ou escala do caráter analisado; (k) permite computar o ganho genético com a seleção pelos três atributos simultaneamente. Estes últimos dois fatores são bastante importantes, pois outros métodos como o de Lin e Binns não fornecem

resultados que podem ser interpretados diretamente como valores genéticos e desta forma, não permitem calcular o ganho genético no caráter composto pela produtividade, estabilidade e adaptabilidade (RESENDE, 2007; MALOSETTI; RIBAUT; VAN EEUWIJK, 2013).

Na literatura existem poucos trabalhos de GxE onde se considera diferentes espaçamentos como ambientes distintos. Diante do exposto e na busca do entendimento do efeito de diferentes espaçamentos no desenvolvimento de clones, o objetivo deste trabalho foi avaliar a interação GxE em um plantio clonal de *Eucalyptus* spp. e *Corymbia* spp. bem como realizar seleção genotípica considerando o desempenho médio entre espaçamentos, por espaçamento e pela produtividade, adaptabilidade e estabilidade pelo método MHPRVG de forma simultânea entre os espaçamentos testados.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido em um plantio experimental, aos 48 meses de idade, pertencente à empresa Aperam Bioenergia S/A, localizada no município de Itamarandiba, região do Vale do Jequitinhonha – MG. A área experimental está localizada nas coordenadas 17°46'22" S e 42°54'12" W, a uma altitude de 946 m.

O clima da região segundo classificação de Koppen é o Cwa, caracterizado como tropical de altitude, temperado úmido, com duas estações bem definidas, verão quente e inverno seco. A região possui uma temperatura média de 21,2 °C, a umidade relativa média do ar varia entre 60% a 70% e a média pluviométrica anual histórica é de 1.132mm (INMET, 2019). O bioma predominante na região é o Cerrado.

O experimento foi implantado em delineamento em blocos ao caso em arranjo de parcelas subdivididas com seis repetições, onde as parcelas experimentais foram

compostas por plantas de cinco clones comerciais de eucalipto (TABELA 6) e as subparcelas foram compostas por seis espaçamentos de plantio (TABELA 7). O plantio foi implantado no mês de setembro de 2014, seguindo os procedimentos silviculturais operacionais da empresa. A subsolagem foi feita em linha com adubação de base utilizando 450 Kg/ha de NPK (10-20-14) + 1,4% Ca; 3,0% S; 0,3% B; 0,4% Cu; 0,4% Zn. O plantio foi realizado de forma manual e a irrigação das mudas foi realizada de maneira mecanizada $\pm 10 \text{ L}^{-1}$ de água por irrigação (3 vezes). O replantio das mudas foi realizado 10 dias após o plantio. Aos seis meses de idade foi realizado a calagem em área total com aplicação de 2.000 Kg/ha de Agrosilício S[®] e 180 Kg de Magnesita[®]. Também foi realizado o controle de formigas cortadeiras, uma capina química antes e outra oito meses após o plantio e uma adubação de cobertura aplicada na linha de plantio aos 18 meses, utilizando 250 Kg/ha de NPK (10-00-35) + 0,6% B + 0,2% Cu + 0,3% Zn.

Entra Tabela 6.

Entra Tabela 7.

Para a mensuração do caráter altura total (HT) foi utilizado um clinômetro digital Haglof[®]. Para a mensuração da circunferência a altura do peito (CAP) foi utilizada uma fita métrica.

As mensurações do CAP foram realizadas em todas as plantas de todas as subparcelas, enquanto as mensurações da altura total foram realizadas sempre medindo uma linha de plantio da subparcela e saltando a linha subsequente

Após a coleta, os dados foram processados no software Excel (Microsoft[®]), onde os dados de CAP foram transformados em diâmetro a altura do peito (DAP). Para a continuidade das análises dos dados e seleção das melhores árvores, foi seguido o

seguinte critério de classificação considerando o estrato ocupado por cada árvore ($HT < (\overline{HT} - 1\sigma)$) “Inferior”; $(\overline{HT} - 1\sigma) \leq HT < (\overline{HT} + 1\sigma)$ “Médio” e $HT \geq (\overline{HT} + 1\sigma)$ “Superior”. As árvores classificadas como inferiores, foram retiradas da base de dados.

O volume individual com casca por indivíduo foi calculado a partir dos dados de DAP, HT e fator de forma médio (0,5244), por meio da seguinte equação:

$$VOL = \frac{\pi \times DAP^2}{4} \times HT \times FF$$

Onde, VOL: Volume da árvore (m³); DAP: diâmetro à altura do peito (cm); HT: altura total (m) e FF: fator de forma.

De posse dos dados de DAP, HT e VOL de todos os indivíduos, foram realizadas as estimativas dos componentes de variância e predição dos valores genéticos por meio da metodologia REML/BLUP e análise simultânea quanto a produtividade, adaptabilidade e estabilidade sob modelos mistos, pelo método MHPRVG utilizando o modelo 55 (adaptado) do software SELEGEN REML/BLUP (RESENDE, 2002b; RESENDE, 2007). Para tanto, cada espaçamento foi considerado como um ambiente. O modelo utilizado é destinado a experimentos em blocos completos e várias repetições e uma observação por parcela. A tabela contendo as adaptações realizadas é apresentada no APÊNDICE C. Assim, o modelo estatístico utilizado foi:

$$y = Xm + Zg + Wp + Ti + e$$

Onde, y é o vetor de dados, m é o vetor dos efeitos das combinações medição-repetição (assumidos como fixos) somados à média geral, g é o vetor dos efeitos genotípicos (assumidos como aleatórios), p é vetor dos efeitos de ambiente permanente (parcelas no caso) (aleatórios), i é o vetor dos efeitos da interação genótipos x medições e e é o vetor

de erros ou resíduos (aleatórios). As letras maiúsculas representam as matrizes de incidência para os referidos efeitos.

As equações do modelo misto equivalem a:

$$\begin{bmatrix} X'X & X'Z & X'W & X'T \\ Z'X & Z'Z + I^{-1}\lambda_1 & Z'W & Z'T \\ W'X & W'Z & W'W + I\lambda_2 & W'T \\ T'X & T'Z & T'W & T'T + I\lambda_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{m} \\ \hat{g} \\ \hat{p} \\ \hat{i} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X'y \\ Z'y \\ W'y \\ T'y \end{bmatrix}$$

Onde,

$$\lambda_1 = \frac{1 - \rho}{h^2} = \frac{\sigma_e^2}{\sigma_g^2}; \lambda_2 = \frac{1 - \rho}{c^2} = \frac{\sigma_e^2}{\sigma_c^2}; \lambda_3 = \frac{1 - \rho}{p^2} = \frac{\sigma_e^2}{\sigma_p^2};$$

$$h^2 = \frac{\sigma_g^2}{\sigma_g^2 + \sigma_c^2 + \sigma_p^2 + \sigma_e^2} = \text{herdabilidade individual no sentido amplo dentro do bloco};$$

$$\rho = \frac{\sigma_g^2 + \sigma_c^2 + \sigma_p^2}{\sigma_g^2 + \sigma_c^2 + \sigma_p^2 + \sigma_e^2} = \text{Repetibilidade individual no bloco};$$

$$P^2 = \frac{\sigma_p^2}{\sigma_g^2 + \sigma_c^2 + \sigma_p^2 + \sigma_e^2} = \text{Coeficiente de determinação dos efeitos permanentes da parcela};$$

$$c^2 = \frac{\sigma_c^2}{\sigma_g^2 + \sigma_c^2 + \sigma_p^2 + \sigma_e^2} = \text{Correlação ambiental comum entre parcelas}.$$

Os estimadores iterativos dos componentes de variancia em REML foram obtidos por meio do algoritmo EM (Expectation-Maximization) (DEMPSTER; LAIRD; RUBIN et al., 1977).

$$\hat{\sigma}_e^2 = [y'y - \hat{m}' X'y - \hat{g}' Z'y - \hat{p}' W'y - \hat{i}' T'y] / [N - r(X)]$$

$$\hat{\sigma}_g^2 = [\hat{g}' I^{-1} \hat{g} + \hat{\sigma}_e^2 \text{tr}(I^{-1} C^{22})] / q$$

$$\hat{\sigma}_p^2 = [\hat{p}' p + \hat{\sigma}_e^2 \text{tr} C^{33}] / s$$

$$\hat{\sigma}_i^2 = [\hat{l}'i + \hat{\sigma}_e^2 \text{tr } C^{44}]/q$$

C^{22} , C^{33} e C^{44} advém de:

$$C^{-1} = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} & C_{14} \\ C_{21} & C_{22} & C_{23} & C_{24} \\ C_{31} & C_{32} & C_{33} & C_{34} \\ C_{41} & C_{42} & C_{43} & C_{44} \end{bmatrix}^{-1} = \begin{bmatrix} C^{11} & C^{12} & C^{13} & C^{14} \\ C^{21} & C^{22} & C^{23} & C^{24} \\ C^{31} & C^{32} & C^{33} & C^{34} \\ C^{41} & C^{42} & C^{43} & C^{44} \end{bmatrix}$$

Em que,

C = Matriz dos coeficientes das equações do modelo misto;

tr = Operador traço matricial;

$r(X)$ = Posto da matriz X ;

N = Número total de dados;

q = Número de indivíduos;

s = Número de genótipo x espaçamento.

Os componentes de variância associados aos efeitos do modelo correspondem a:

$\hat{h}_g^2 = \frac{\hat{\sigma}_g^2}{\hat{\sigma}_f^2}$ = herdabilidade de parcelas individuais no sentido amplo, ou seja, dos efeitos genotípicos totais;

$\hat{c}_{parc}^2 = \frac{\hat{\sigma}_c^2}{\hat{\sigma}_f^2}$ = coeficiente de determinação dos efeitos de parcela;

$\hat{c}_{int}^2 = \frac{\hat{\sigma}_{int}^2}{\hat{\sigma}_f^2}$ = coeficiente de determinação dos efeitos da interação genótipos x espaçamentos;

$CV_g(\%) = \frac{\sqrt{\hat{\sigma}_g^2}}{\mu} * 100$ = coeficiente de variação genotípica;

$$CV_a(\%) = \frac{\sqrt{\hat{\sigma}_c^2}}{\mu} * 100 = \text{coeficiente de variação residual a};$$

$$CV_b(\%) = \frac{\sqrt{\hat{\sigma}_e^2}}{\mu} * 100 = \text{coeficiente de variação residual b};$$

$$CV_{ra} = \frac{CV_g}{CV_a} = \text{coeficiente de variação relativa a};$$

$$CV_{rb} = \frac{CV_g}{CV_b} = \text{coeficiente de variação relativa b};$$

$$\hat{r}_{gloc} = \frac{\hat{\sigma}_g^2}{(\hat{\sigma}_g^2 + \hat{\sigma}_{int}^2)} = \text{correlação genotípica entre o desempenho nos vários espaçamentos};$$

$$\hat{h}_{mg}^2 = \frac{\hat{\sigma}_g^2}{\hat{\sigma}_g^2 + (\hat{\sigma}_e^2/b) + (\hat{\sigma}_c^2/(nb))} = \text{herdabilidade da média de genótipo. n: número de parcelas; b:}$$

número de blocos;

$$\hat{r}_{gg}^2 = \sqrt{\hat{h}_{mg}^2} = \text{acurácia na seleção de genótipos.}$$

$\hat{\sigma}_g^2$: variância genotípica; $\hat{\sigma}_c^2$: variância ambiental entre parcelas; $\hat{\sigma}_{int}^2$: variância da interação genótipos x espaçamentos; $\hat{\sigma}_e^2$: variância residual; $\hat{\sigma}_f^2$: variância fenotípica individual; μ : média geral do experimento.

A seleção simultânea considerando a produtividade, adaptabilidade e estabilidade foi realizada pelo método MHPRVG segundo a expressão $MHPRVG_i = n / \sum_{j=1}^n 1/\sigma_{gij}^2$ em que n é o número de ambientes onde se avaliou o genótipo i e σ_{gij}^2 é o valor genotípico do genótipo i no ambiente j , expresso como proporção da média deste ambiente.

Os efeitos da interação GxE equivalem a interação entre genótipos e ambientes. Desta forma, este efeito foi calculado como sendo o desvio em relação à média geral e

livre dos demais efeitos. Além destas análises, a correlação genotípica entre os caracteres DAP, HT e VOL foi obtida por meio do coeficiente de correlação de Pearson (100 iterações) utilizando o pacote psych (REVELLE, 2019), disponível para o software R (CORE TEAM, 2019).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As estimativas dos componentes de variância para os caracteres DAP, HT e VOL são detalhadas na Tabela 8. Como pode-se verificar, as estimativas da variância genotípica ($\hat{\sigma}_g^2$), para o caráter DAP, HT e VOL nos seis diferentes espaçamentos estudados, mostram-se com boas taxas de controle genético sendo 0,48, 3,64 e 0,0003 respectivamente. Estas estimativas evidenciam a existência de variabilidade genética entre os clones e desta forma, uma efetiva seleção quanto a estes caracteres se torna possível. Estimativas dos componentes de variância são de grande importância, pois auxiliam no correto direcionamento do programa de melhoramento, bem como servem de suporte para a correta recomendação de materiais genéticos (MAIA et al., 2009).

Entra Tabela 8.

Os valores obtidos nas avaliações de campo correspondem ao valor fenotípico. Estes valores são influenciados pelos efeitos genotípicos, ambientais e da interação GxE. Na interação GxE, o somatório das variâncias $\hat{\sigma}_g^2$, $\hat{\sigma}_{int}^2$ e dos erros a e b, resulta na variância fenotípica individual ($\hat{\sigma}_f^2$). Embora os erros a e b representem 20,00% para DAP, 3,14% para HT e 20,00% para VOL desse valor, significativos progressos genéticos foram obtidos. Rosado et al. (2012) e Torres et al. (2015) ao realizarem análises da interação GxE em eucalipto e feijão-caupi, respectivamente, utilizando modelos mistos,

obtiveram variâncias residuais acima de 60% da variância fenotípica individual e significativos ganhos com seleção.

A proporção desta variância fenotípica que é passível de exploração na seleção, ou seja, a fração que pode ser herdada é denominada de herdabilidade e desta forma, torna-se um dos parâmetros genéticos de maior importância para a seleção. A herdabilidade da média dos genótipos (\hat{h}_{mg}^2) é estimada ao se utilizar as médias como critério de seleção e atinge significativo nível de precisão devido a redução dos erros experimentais por meio do aumento proporcional do número de repetições. Portanto, este componente de variância possui grande importância para os melhoristas, uma vez que para prever o sucesso do melhoramento na seleção de clones, este parâmetro é essencial, pois estima os valores genotípicos preditos por meio da média de várias repetições (RESENDE, 2007; MAIA et al., 2009; RAMALHO et al., 2012; ROSADO et al., 2012).

Estimativas de \hat{h}_{mg}^2 para os caracteres DAP, HT e VOL nos seis espaçamentos apresentaram valores de 0,94, 0,98 e 0,93 respectivamente (TABELA 8), sendo considerados como de alta magnitude. Segundo Rosado et al. (2012) elevados valores estimados para \hat{h}_{mg}^2 demonstram que existe alto controle genético na expressão dos caracteres e, conseqüentemente, grande potencial de seleção dentro do experimento. Estes valores, também servem como indicadores para a seleção de clones de alta produtividade e evidenciam alta precisão experimental. Este mesmo autor obteve estimativas de \hat{h}_{mg}^2 classificadas como altas para os caracteres DAP, HT e VOL em clones de *Eucalyptus*, aos três anos de idade avaliados em quatro ambientes.

A estimativa da herdabilidade individual no sentido amplo (\hat{h}_g^2) apresentou-se com valores altos para DAP (0,59), HT (0,89) e VOL (0,63), onde Resende (2002a) a classifica como baixa, de 0,01 a 0,15; moderada, de 0,15 a 0,50 e alta, acima de 0,50. Os valores obtidos para \hat{h}_g^2 demonstram a necessidade de realizar o desdobramento da interação GxE, a fim de maximizar o ganho na seleção dos clones.

Assim, elevadas estimativas do coeficiente de variação genotípica $CV_g(\%)$ são esperadas, pois ele quantifica a variação genética existente entre os clones para os caracteres avaliados que está disponível para seleção. Portanto, observa-se que os valores obtidos são significativos e que há a possibilidade em obter ganhos genéticos na seleção dos clones. Baixas estimativas para o coeficiente de variação residual $CV_a(\%)$ e $CV_b(\%)$, também são esperadas, uma vez que esta estatística é um indicativo da qualidade experimental. Segundo Rosado et al. (2012) ao comparar os valores de coeficiente de variação residual entre as variáveis DAP, HT e VOL é esperado que o caráter VOL apresente valores elevados, uma vez que é um caráter obtido indiretamente e desta forma, capitaliza os erros experimentais dos caracteres utilizados ao realizar sua estimativa. Outra variável também conexa a confiabilidade experimental que proporciona uma maior confiabilidade na seleção de clones superiores, tem-se a $\hat{r}_{\hat{g}g}^2$, onde foi-obtido um valor médio de 0,97 para todos os caracteres avaliados. Este valor é considerado como alto e evidencia uma alta correlação entre os valores genéticos preditos e valores genéticos reais dos genótipos (RESENDE; DUARTE, 2007).

O coeficiente de variação relativa (CV_r) é dado pela relação $CV_g(\%)/CV_a(\%)$ e $CV_g(\%)/CV_b(\%)$ possuindo grande relevância em estudos de melhoramento genético, pois fornece uma medida onde é possível observar para um caráter qualquer se o

controle genético é maior ou menor e o quanto ele é influenciado pelos fatores ambientais, o que permite compreender e/ou detectar a interação GxE para o caráter em análise. Portanto, quanto maior o CV_r , maior é o controle genético do caráter e menor é a influência do ambiente sobre ele, valores próximos a 1,00 são considerados como altos e valores médios são considerados quando próximos a 0,5 (VENCOVSKY; BARRIGA, 1992). Os valores de CV_{ra} aqui obtidos foram 3,79, 18,97 e 2,85 para DAP, HT e VOL respectivamente e os valores de CV_{rb} foram 15,43, 5,27 e 1,73 para DAP, HT e VOL respectivamente. Uma vez que, todos foram superiores a 1,00, pode-se inferir que a seleção realizada para estes caracteres serão efetiva do ponto de vista genético e que os diferentes espaçamentos não influenciam de forma acentuada a expressão dos caracteres analisados.

Por sua vez, o coeficiente de determinação dos efeitos de parcela (\hat{c}_{parc}^2) foi de baixa magnitude para todos os caracteres estudados. Segundo Arantes et al. (2013) baixos valores de \hat{c}_{parc}^2 são desejados, pois demonstra boa qualidade experimental e também consiste em um indicativo de que existe homogeneidade ambiental dentro dos blocos instalados.

No que se refere à análise da adaptabilidade e estabilidade genética dos indivíduos, em função do maior ou menor grau desses parâmetros, a variância da interação GxE ($\hat{\sigma}_{int}^2$) pode inflacionar a expressão fenotípica de um caráter. Esta medida estima o quanto da variação total é representada pela variação da interação GxE (BASTOS et al., 2007; MAIA et al., 2009). Baixas magnitudes de $\hat{\sigma}_{int}^2$ indicam que a interação GxE emprega pouca influência no valor fenotípico. Neste contexto, um genótipo que demonstre bom desempenho em um ambiente, tende a se manter em ambientes

diferentes, pois o genótipo apresentaria uma resposta favorável perante às influências ambientais (alta correlação entre valores genotípicos, através dos ambientes). Desta forma, manteria a constância de seu comportamento ou previsibilidade perante as variações ambientais, ou seja, seria considerado um genótipo estável e, possivelmente, bem-adaptado. Esta estimativa, também permite aferir sobre a necessidade de discriminá-la em estudos de interação, uma vez que a interação GxE possui uma parcela chamada de interação simples e uma chamada de interação complexa ou cruzada (MAIA et al., 2009). A interação simples está relacionada à diferença entre a variância genética do caráter em diferentes ambientes e não ocasiona grandes problemas para a seleção. Já a interação complexa é decorrente da ausência de uma correlação entre os tratamentos genéticos de um ambiente para outro. Esta falta de correlação dificulta o processo de seleção de genótipos de adaptação mais ampla (RESENDE, 2007).

As magnitudes $\hat{\sigma}_{int}^2$ obtidas neste trabalho foram significativas sendo 16,67%, 7,81% e 20,00% da variabilidade fenotípica total dos caracteres DAP, HT e VOL, respectivamente. Comparativamente aos respectivos valores de herdabilidade individual estes valores equivalem a 20,34%, 35,96% e 0,02% para DAP, HT e VOL respectivamente, sendo considerados como altos. Estas proporções conduziram a estimativas da correlação genotípica entre o desempenho nos vários ambientes (\hat{r}_{gloc}), onde obteve-se valores de 0,78, 0,92 e 0,75 para as variáveis DAP, HT e VOL, respectivamente. Estes resultados corroboram com as estimativas obtidas para o coeficiente de determinação dos efeitos da interação genótipos x ambientes (\hat{c}_{int}^2), pois segundo Furlan (2018) valores significativos como os estimados, proporcionam elevados valores de \hat{r}_{gloc} . Os valores obtidos para \hat{r}_{gloc} são considerados altos, entretanto ainda

demonstram a necessidade de se analisar a adaptabilidade e estabilidade dos clones nos diferentes ambientes.

Ao analisar a adaptabilidade, estabilidade e produção, mediante emprego das três diferentes estratégias, obteve-se as estimativas de ganhos genéticos preditos para as variáveis analisadas, considerando os valores genotípicos preditos livres de interação ($u+g$) e os valores preditos somados com a interação média entre os ambientes ($u+g+gem$) de cada clone em todos os ambientes (TABELA 9).

Os valores genotípicos livres da interação permitiram verificar que os três melhores clones foram C3, C4 e C5, com um ganho médio de 5,49% para DAP, 11,86% para HT e 18,62% para a variável VOL em todos os espaçamentos e desta forma, podem ser classificados como clones plásticos, ou seja, podem ser utilizados em diferentes espaçamentos e ainda sim obter um desenvolvimento favorável para os caracteres estudados. Esta plasticidade segundo Santos et al. (2013) deve-se, dentre outras razões, ao fato destes clones serem híbridos, pois quanto maior o número de espécies nos cruzamentos controlados, isto é, o número de genótipos que o constitui, maior tende a ser a estabilidade dos genótipos em diferentes ambientes.

Os significativos valores de ganho quando não capitaliza a interação média entre os espaçamentos, indicam que é possível recomendar os clones C3, C4 e C5 visando à seleção com base no bom desempenho nos diferentes espaçamentos, ou seja, com base na sua adaptabilidade. Este método penaliza os valores genotípicos preditos, assim o mesmo comportamento das médias genéticas ($u+g$) dos caracteres analisados é esperado quando os melhores clones forem submetidos a diferentes ambientes, mesmo com padrões de interação GxE diferentes dos encontrados neste estudo. Diferente do

observado para estes três clones, os outros dois clones (C1 e C2) apresentaram ganhos considerados como baixos à nulos.

Entra Tabela 9.

Entretanto, quando os valores preditos são somados a interação média entre espaçamentos (u+g+gem), apenas os clones C4 e C5 mantiveram-se com bom desempenho para todas os caracteres analisados. Diferente do observado com a abordagem anteriormente considerada, o clone C3 apresentou perda de 0,64% para o caráter HT, embora tenha apresentado ganhos para as demais variáveis. Desta forma, esse clone foi contabilizado apenas nos ganhos médios para DAP e VOL, onde verificaram-se ganhos médios de 3,78% para DAP e 14,70% para VOL. Por sua vez os ganhos médios foram 11,88% para HT, valor obtido sem contabilizar a contribuição do clone C3. Assim, nesta avaliação os clones C1, C2 e C3 apresentam perdas em relação à média geral do experimento, o que evidenciou a necessidade de analisar seus desempenhos em cada espaçamento.

As Tabelas 10, 11 e 12 demonstram os valores genotípicos preditos (u+g+ge) e os ganhos com seleção dos clones em cada espaçamento para os caracteres analisados. De forma geral, os clones C3, C4 e C5, em média, apresentaram ganhos na ordem de 5,81%, 6,06%, 4,77%, 7,77%, 5,21% e 4,64% nos espaçamentos 1, 2, 3, 4, 5 e 6 respectivamente para o caráter DAP (TABELA 10). Para o caráter HT os ganhos médios foram na ordem de 14,44%, 12,70%, 10,49%, 13,83%, 11,74% e 8,54% para os espaçamentos 1, 2, 3, 4, 5 e 6 respectivamente (TABELA 11). Já na Tabela 12, onde são apresentados os ganhos para o caráter VOL, os valores obtidos foram de 21,78%, 18,92%, 18,40%, 24,31%, 16,81% e 14,30% para os espaçamentos 1, 2, 3, 4, 5 e 6,

respectivamente. Com exceção do clone C5 no espaçamento 6 para os caracteres DAP e VOL os clones C3, C4 e C5 se mantiveram entre os três melhores clones sendo similares aos resultados obtidos e apresentados na Tabela 4 por meio do valor genotípico predito ($u+g$) para todos os caracteres em todos os espaçamentos analisados.

Comparativamente, os espaçamentos 3, 5 e 6 proporcionaram ganhos médios inferiores aos ganhos médios observados ($u+g$) (TABELA 9) para os três melhores clones em todos os caracteres analisados, isto ocorre devido a média do ambiente ser inferior à média do experimento como ocorre no método dos valores genotípicos preditos livres de interação.

Entram Tabelas 10, 11 e 12.

Os três clones (C3, C4 e C5) também se mantiveram entre os três melhores no método onde se capitaliza a produtividade, adaptabilidade e estabilidade (MHPRVG) simultaneamente (TABELA 13). Análise complementar é fundamental para que se tenha maior segurança em estudos de interação GxE (MAIA et al., 2009). Pois, a seleção de genótipos estáveis e adaptados aos diferentes ambientes é inerente à capitalização da interação. Entre os três melhores clones para cada ambiente o clone C3 apresentou-se superior aos demais clones analisados quanto ao DAP, seguido dos clones C4 e C5. Para o caráter HT, houve uma inversão do ranqueamento, assim o clone C4 se mostrou superior aos demais clones, seguido dos clones C5 e C3. E para o caráter VOL o clone C4 também se mostrou superior aos demais clones, seguido dos clones C3 e C5.

Entra Tabela 13.

Os clones de maior desempenho quanto a MHPRVG corroboram com os resultados encontrados anteriormente, onde os clones tiveram seu ranqueamento

mantido ou não sofreram alterações significativas nos diferentes espaçamentos. A manutenção do ordenamento nas três estratégias de seleção analisadas se deve principalmente pela \hat{r}_{gloc} obtida para os caracteres DAP, HT e VOL. De posse destes dados, é possível selecionar clones produtivos, adaptados e estáveis que possuam ampla utilização ou que sua utilização é favorável em espaçamentos específicos. Os três melhores clones pelo método MHPRVG, através do valor genético predito ($MHPRVG \cdot \mu$), apresentaram ganho médio em relação à média do experimento de 3,63% para a variável DAP, 7,56% para HT e 13,65% para VOL. Ao comparar estes ganhos médios obtidos para os três melhores clones pela seleção em todos os espaçamentos pelo método dos valores genotípicos preditos livre de interação para os caracteres DAP, HT e VOL é observado uma queda de 1,86%, 4,30% e 4,97% respectivamente. E comparando-se estes ganhos médios com os obtidos para a seleção por espaçamento (TABELAS 10, 11 e 12) é observado que há uma queda no ganho para todos os clones em todos os espaçamentos.

Porém, ainda que o método MHPRVG proporcione ganhos inferiores aos observados mediante outras análises, este apresenta benefícios adicionais por fornecer o valor genotípico médio penalizado pela instabilidade e capitalizar a adaptabilidade, tonando-se uma avaliação de grande importância para a recomendação de clones mais produtivos, adaptados e estáveis.

Estes resultados obtidos demonstram que os clones analisados não interagem de forma complexa com o ambiente, fato este que pode ser comprovado pela manutenção de seus ranqueamentos nos diferentes ambientes, independente da análise considerada. Ao verificar o desempenho dos três melhores clones nos diferentes espaçamentos o

ordenamento quanto a superioridade já era esperada, devido aos valores obtidos para \hat{c}_{int}^2 e para $\hat{\sigma}_{int}^2$, o que caracteriza a interação GxE.

Assim, os clones C3, C4 e C5 podem ser recomendados para plantio em outros espaçamentos, desde que respeitado o padrão de interação encontrado neste estudo. Os clones C1 e C2, comparados aos demais clones, apresentaram desempenho inferior em todos os espaçamentos, desta forma, não são recomendados para o plantio nos espaçamentos estudados. Este baixo desempenho está relacionado aos valores negativos encontrados para $g + ge$, isto é, o genótipo apresenta-se abaixo da média geral do clone no ambiente correspondente.

Os efeitos da interação GxE, são apresentados como desvio em relação à média geral e livre dos demais efeitos tais quais g . A performance de cada clone em cada espaçamento e para cada caractere analisado em suas respectivas grandezas pode ser verificado na Figura 2 por meio das perdas (quando negativo) e ganhos (quando positivos).

A alta correlação genética entre os caracteres DAP, HT e VOL (TABELA 14), demonstra que é possível realizar seleção indireta com vista ao ganho em volume por meio do caráter DAP. Entretanto, para que a seleção indireta seja vantajosa sobre a seleção direta, o produto da acurácia de um caráter quantitativo qualquer pela correlação genética entre ele e o outro caráter quantitativo almejado necessariamente deve ser maior que a acurácia do caráter almejado (RESENDE, 2002a). Desta forma, a eficiência da seleção indireta foi calculada por meio do caráter DAP visando ganhos com seleção para os caracteres HT e VOL e por meio do caráter HT em vista de ganhos para o caráter VOL (TABELA 14). Entretanto os valores obtidos foram menores que as acurácias dos

caracteres aspirados, mesmo obtendo altas correlações entre os mesmos. Assim, neste trabalho a seleção indireta não se torna uma opção vantajosa sobre a seleção direta.

4 CONCLUSÕES

A interação genótipo ambiente é do tipo simples.

As herdabilidades médias dos clones para os três caracteres avaliados, foram de alta magnitude indicando a possibilidade de se realizar efetiva seleção de clones com altas acurácias.

Os três clones com melhor desempenho para os caracteres avaliados nos diferentes espaçamentos foram C4, C3 e C5 respectivamente.

O clone C3 apresentou melhor desempenho para o caractere DAP, quando avaliado simultaneamente em todos os espaçamentos, bem como por espaçamento e quanto a produtividade, adaptabilidade e estabilidade.

O clone C4 apresentou melhor desempenho para os caracteres HT e VOL, quando avaliado simultaneamente em todos os espaçamentos, por espaçamento e para a produtividade, adaptabilidade e estabilidade.

Apenas uma alta correlação genética entre caracteres não permite a efetiva seleção dos clones de forma indireta.

Os clones avaliados apresentaram significativos ganhos com seleção nos espaçamentos utilizados, com exceção dos clones C1 e C2.

O método MHPRVG proporcionou a realização de uma seleção otimizada quanto à produtividade, adaptabilidade e estabilidade, sendo indicado para avaliações e recomendações de clones em diferentes espaçamentos.

5 REFERÊNCIAS

- ARANTES, F. C.; JUNIOR, E. J. S.; GONÇALVES, P. S.; MORAES, M. L. T.; GONÇALVES E. C. P.; RESENDE, M. D. V. Adaptability and stability in rubber tree progenies under different environmental conditions. **Pesquisa florestal brasileira**, Colombo, v. 33, n. 73, p. 37-44, jan./mar. 2013.
- BASTOS, I. T.; BARBOSA, M. H. P.; RESENDE, M. D. V.; PETERNELII, L. A.; SILVEIRA, L. C. I.; DONDA, L. R.; FORTUNATO, A. A.; COSTA, P. M. A.; FIGUEIREDO, I. C. R. Avaliação da interação genótipo × ambiente em cana-de-açúcar via modelos mistos. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 37, n. 4, p. 195-203, 27 dez. 2007.
- BORÉM, A.; MIRANDA, G. V. **Melhoramento de plantas**. 6 ed. Viçosa, MG. Ed. UFV, 2013, 523 p.
- CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Áustria, **R Foundation for Statistical Computing**, 2019. Disponível em: < <http://R.project.org/>>. Acesso em: 04 abr. 2019.
- CRUZ C. M.; CARNEIRO, P. C. S.; REGAZZ, A. J. **Métodos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 4 ed. Viçosa, Imp. Universitária, 2012, 514 p.
- DEMPSTER, A. P.; LAIRD, N. M.; RUBIN, D. B. Maximum likelihood from incomplete data via the EM algorithm. **Journal of the Royal Statistic Society**, London, v. 39, n. 1, p. 1-38, 1977.
- FURLAN, R. A. **Seleção de clones de eucalipto para tolerância à seca no nordeste do Brasil**. 2018. 99 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu, 2018.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). Rede DE estações automáticas INMET. Disponível em:

<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home/page&page=rede_estacoes_auto_graf>. Acesso em: 05 fev. 2019.

KEARNEY, D.; JAMES, R.; MONTAGU, K.; SMITH, R. G. B. The effect of initial planting density on branching characteristics of *Eucalyptus pilularis* and *E. grandis*. **Australian Forestry**, Canberra, v. 70, n.4, p. 262-268, 2007.

LIMA, R.; INOUE, M. T.; FIGUEIREDO FILHO, A.; ARAÚJO, A. J.; MACHADO, S. A. Efeito do espaçamento no desenvolvimento volumétrico de *Pinus taeda* L. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 20, n. 2, p. 223-230, 2013.

LIN, C. S.; BINNS, M. R. A superiority measure of cultivar performance for cultivar x location data. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v. 68, n. 3, p. 193-198, 1988.

MAGALHÃES, W. M.; MACEDO, R. L. G.; VENTURIN, N.; HIGASHIKAWA, E. M.; YOSHITANI JUNIOR, M. Desempenho silvicultural de clones e espécies/procedências de *Eucalyptus* na Região Noroeste de Minas Gerais. **Revista Cerne**, Lavras, v. 13, n.04, p. 368-375, 2007.

MAIA, M.C.C.; RESENDE, M.D.V.; PAIVA, J.R. de; CAVALCANTI, J.J.V.; BARROS, L. de M. Seleção simultânea para produção, adaptabilidade e estabilidade genotípicas em clones de cajueiro, via modelos mistos. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 39, n. 1 p. 43-50, jan./mar. 2009.

MALOSETTI, M.; RIBAUT, J.-M.; VAN EEUWIJK, F.A. The statistical analysis of multi environment data: modeling genotypeby- environment interaction and its genetic basis. **Frontiers in Physiology**, Peru, v.4, art.44, 2013. DOI: 10.3389/fphys.2013.00044.

OLIVEIRA, T.W.G; PAULA, R.C.; MORAES, M.L.T.; ALVARES, C.A.; MIRANDA, A.C; SILVA, P.H.M. da. Stability and adaptability for wood volume in the selection of *Eucalyptus saligna* in three environments. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.53, n.5, p.611-619, maio 2018. DOI: 10.1590/S0100-204X2018000500010.

RAMALHO, M. A. P.; SANTOS, J. B.; PINTO, C. A. B. P.; SOUZA, E. A.; GONÇALVES, F. M. A.; SOUZA, J. C. **Genética na agropecuária**. 5. ed. Lavras: Editora UFLA, 2012, p.566. ISBN: 9788581270081.

RESENDE, M. D. V. **SELEGEN-REML/BLUP**: sistema estatístico e seleção genética computadorizada via modelos lineares mistos. 1. ed. Colombo: Embrapa Florestas, 2007, p.360. ISBN 978-85-89281-16-4.

RESENDE, M. D. V.; DUARTE, J. B. Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 37, n. 3, p. 182-194, set. 2007.

RESENDE, M.D.V. **Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes**. 1. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2002a. 975p. ISBN 8573831618.

RESENDE, M.D.V. **Software Selegen-REML/BLUP**. 1. ed. Colombo: Embrapa Florestas, 2002b. p. 67. ISSN 1517536X.

REVELLE, W. Procedures for Psychological, Psychometric, and Personality: Version 1.8.12. Evanston, Illinois: **Northwestern University**, 2019. Disponível em: <<https://personality-project.org/r/psych>>. Acesso em: 08 abr. 2019.

ROSADO, A.M; ROSADO, T. B; ALVES, A.A; LAVIOLA, B.G; BHERING, L.L. Seleção simultânea de clones de eucalipto de acordo com produtividade, estabilidade e

adaptabilidade. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.47, n.7, p.964-971, jul. 2012.

SANTOS, G. A.; RESENDE, M. D. V.; SILVA, L. D.; HIGA, A.; ASSIS, T. F. Adaptabilidade de híbridos multiespécies de *Eucalyptus* ao estado do rio grande do sul. **Revista Árvore**, Viçosa, v.37, n.4, p.759-769, 2013.

SANTOS, G.A. dos; NUNES, A.C.P.; RESENDE, M.D.V. de; SILVA, L.D.; HIGA, A.; ASSIS, T.F. de. An index combining volume and Pilodyn penetration to study stability and adaptability of *Eucalyptus* multi-species hybrids in Rio Grande do Sul, Brazil. **Australian Forestry**, v.79, p.248-255, 2016. DOI: 10.1080/00049158.2016.1237253.

SILVA, E. N.; MACHADO, C. C.; MINETTE, L. J.; SOUZA, A. P.; FERNANDES, H. C.; SILVA, M. L.; JACOVINE, L. A. Avaliação técnica e econômica do corte mecanizado de *Pinus* sp. com harvester. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 34, n. 4, p. 745-753, 2010.

SILVA, G. O.; CARVALHO, A. D. F.; VEIRA, J. V.; BENIN, G. Verificação da adaptabilidade e estabilidade de populações de cenoura pelos métodos AMMI, GGE biplot e REML/BLUP. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 3, p. 494-501, 2011. DOI: 10.1590/S000687052011005000003.

SILVA, W. C. J.; DUARTE, J. B. Métodos estatísticos para estudo de adaptabilidade e estabilidade fenotípica em soja. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.41, n.1, p.23-30, jan. 2006.

TEODORO, P.E.; BHERING, L.L.; COSTA, R.D.; ROCHA, R.B.; LAVIOLA, B.G. Mixed models for selection of *Jatropha* progenies with high adaptability and yield stability in Brazilian regions. **Genetics and Molecular Research**, v.15, p. 9, ago. 2016. DOI: 10.4238/gmr.15038824.

TORRES, F.E.; TEODORO, P.E.; SAGRILO, E.; CECCON, G.; CORREA, A.M. Interação genótipo × ambiente em genótipos de feijão-caupi semiprostrado via modelos mistos.

Bragantia, v.74, n.3, p.255-260, 2015. DOI: 10.1590/1678-4499.0099.

VENCOVSKY, R.; BARRIGA, G. P. **Genética biométrica no fitomelhoramento**. 1. ed. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1992. 486p.

VENDRUSCROLO, E.C.G.; SCAPIM, C.A.; PACHECO, C.A.P.; OLIVEIRA, V.R.; BRACCINI, A.L.; GONÇALVES-VIDIGAL, M.C. Adaptabilidade e estabilidade de cultivares de milho-pipoca na região centro-sul do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, n.1, p.123-130, jan. 2001.

Tabela 6. Material genético utilizado no estudo.**Table 6.** Genetic material used in the study.

Clone	Material genético
C1	<i>Eucalyptus cloeziana</i>
C2	Híbrido espontâneo de <i>Corymbia torelliana</i> x <i>Corymbia citriodora</i>
C3	Híbrido espontâneo de <i>Corymbia citriodora</i> x <i>Corymbia torelliana</i>
C4	Híbrido espontâneo de <i>Eucalyptus urophylla</i>
C5	Híbrido de polinização controlada de <i>Eucalyptus urophylla</i> x (<i>E. camaldulensis</i> x <i>E. grandis</i>)

Tabela 7. Espaçamentos, espaços vitais de crescimento e densidade de plantas por hectare utilizados.**Table 7.** Spacings, vital growth spaces and plant density per hectare used.

Espaçamentos (mxm)	Espaço vital de crescimento (m ² /planta)	Densidade (plantas/ha)	Nº de plantas por parcela
1. 3x3	9,0	1111	18
2. 3x1,5	4,5	2222	36
3. 3x1	3,0	3333	66
4. 6x1,5	9,0	1111	18
5. 6x0,75	4,5	2222	36
6. 6x0,5	3,0	3333	66

Tabela 8. Estimativa dos componentes de variância (REML individual) para os caracteres diâmetro a altura do peito (DAP), altura total (HT) e volume individual (VOL) de clones de *Eucalyptus* spp. e *Corymbia* spp. plantados em diferentes espaçamentos.

Table 8. Estimation of the components of variance (individual REML) for the characters diameter, breast height (DBH), total height (HT) and individual volume (VOL) of *Eucalyptus* spp clones. and *Corymbia* spp. planted in different spacings.

Componentes de variância (REML Individual)			
Parâmetro	DAP	HT	VOL
σ^2g	0,43	3,64	0,0003
erro a	0,03	0,01	0,0000
σ^2int	0,12	0,32	0,0001
erro b	0,15	0,13	0,0001
σ^2f	0,72	4,10	0,0005
h^2g	$0,59 \pm 0,16$	$0,89 \pm 0,20$	$0,6334 \pm 0,1678$
c^2parc	0,04	0,00	0,0203
c^2int	0,17	0,08	0,2319
h^2mg	0,94	0,98	0,9300
\hat{r}_{gg}^2	0,97	0,99	0,9644
\hat{r}_{gloc}	0,78	0,92	0,7500
$CV_g(\%)$	6,02	12,14	21,1200
$CV_a(\%)$	1,59	0,64	7,41
$CV_b(\%)$	0,39	2,30	12,20
$CV_{ra}(\%)$	3,79	18,97	2,85
$CV_{rb}(\%)$	15,43	5,27	1,73
μ	10,90	15,71	0,0820

σ^2g : variância genotípica parcela; erro a: erro associado a parcela; σ^2int : variância da interação parcela x subparcela; erro b: erro associado a subparcela; σ^2f : variância fenotípica individual; h^2g : herdabilidade individual no sentido amplo, ou seja, dos efeitos genotípicos totais; c^2parc : coeficiente de determinação dos efeitos de parcela; c^2int : coeficiente de determinação dos efeitos da interação parcela x subparcela; h^2mg : herdabilidade da média de genótipo; \hat{r}_{gg}^2 : acurácia da seleção de genótipos \hat{r}_{gloc} : correlação genotípica entre o desempenho nos vários espaçamentos; $CV_g(\%)$: coeficiente de variação genotípica; $CV_a(\%)$: coeficiente de variação residual da parcela; $CV_b(\%)$: coeficiente de variação residual da subparcela; CV_{ra} : coeficiente de variação relativa da parcela; ; CV_{rb} : coeficiente de variação relativa da subparcela μ : média geral do experimento.

Tabela 9. Estimativas do ganho genético predito (BLUP individual) para os caracteres diâmetro a altura do peito (DAP), altura total (HT) e volume individual (VOL) em clones de *Eucalyptus* spp. e *Corymbia* spp. considerando o desempenho médio entre espaçamentos.

Table 9. Estimates of predicted genetic gain (individual BLUP) for the diameter at breast height (DBH), total height (HT) and individual volume (VOL) in *Eucalyptus* spp. and *Corymbia* spp. considering the average performance between spacings.

DAP									
Clone	g	u + g	G (u+g)	G % (u+g)	Nov. Med.	u+g+gem	g (u+g+gem)	G % (u+g+gem)	Nov. Med.
C3	0,78	11,68	0,78	7,11	11,68	11,71	0,76	7,01	11,66
C4	0,43	11,33	0,60	5,53	11,50	11,35	0,42	3,88	11,32
C5	0,05	10,95	0,42	3,84	11,32	10,95	0,05	0,47	10,95
C1	-0,56	10,34	0,17	1,60	11,07	10,31	-0,55	-5,05	10,35
C2	-0,70	10,20	0,00	0,00	10,90	10,17	-0,69	-6,32	10,21
HT									
C4	2,53	18,24	2,53	16,10	18,24	18,30	2,55	16,22	18,25
C5	1,18	16,89	1,86	11,82	14,57	16,91	1,18	7,54	16,89
C3	-0,10	15,61	1,20	7,66	16,91	15,61	-0,10	-0,64	15,61
C2	-1,74	13,97	0,47	2,98	16,18	13,95	-1,73	-11,02	13,98
C1	-1,87	13,84	0,00	0,00	15,71	13,81	-1,86	-11,86	13,84
VOL									
C4	0,0186	0,1006	0,0186	22,68	0,1006	0,1017	0,0183	22,3427	0,1003
C3	0,0114	0,0934	0,0150	18,29	0,0970	0,0941	0,0113	13,7232	0,0933
C5	0,0066	0,0887	0,0122	14,88	0,0942	0,0891	0,0066	8,0524	0,0886
C1	-0,0177	0,0643	0,0047	5,73	0,0868	0,0633	-0,0174	-21,2085	0,0646
C2	-0,0189	0,0631	0,0000	0,00	0,0820	0,0620	-0,0186	-22,6829	0,0634

g: efeitos genotípicos; u + g: valores genotípicos preditos, livres de toda interação com espaçamentos; G: ganho; G %: ganho em porcentagem; Nov. Med: nova média; u + g + gem: refere-se ao valor genotípico médio nos vários espaçamentos e capitaliza uma interação média com todos os ambientes avaliados.

Tabela 10. Estimativas do ganho genético predito (BLUP individual) para o caráter diâmetro a altura do peito (DAP) em clones de *Eucalyptus* spp. e *Corymbia* spp. considerando o desempenho em cada espaçamento.

Table 10. Estimates of predicted genetic gain (individual BLUP) for the character diameter diameter at breast height (DBH) in *Eucalyptus* spp. and *Corymbia* spp. considering the performance in each spacing.

Espaçamento	DAP					
	Genótipo	g+ge	u+g+ge	Ganho	Ganho %	Nova Média
1	C3	0,88	13,74	0,88	6,83	13,74
	C4	0,57	13,43	0,73	5,64	13,59
	C5	0,47	13,33	0,64	4,97	13,50
	C1	-0,90	11,96	0,25	1,98	13,12
	C2	-1,02	11,84	0,00	0,00	12,86
2	C3	0,91	11,73	0,91	8,45	11,73
	C4	0,32	11,13	0,62	5,69	11,43
	C5	0,08	10,89	0,44	4,03	11,25
	C2	-0,63	10,18	0,17	1,56	10,98
	C1	-0,68	10,14	0,00	0,00	10,81
3	C3	0,60	10,17	0,60	6,24	10,17
	C4	0,70	9,97	0,50	5,20	10,07
	C5	-0,17	9,40	0,27	2,87	9,85
	C1	-0,38	9,19	0,11	1,15	9,68
	C2	-0,44	9,13	0,00	0,00	9,57
4	C3	1,22	13,80	1,22	9,67	13,80
	C4	0,77	13,36	1,00	7,91	13,58
	C5	0,17	12,75	0,72	5,72	13,31
	C2	-1,01	11,58	0,29	2,28	12,87
	C1	-1,15	11,44	0,00	0,00	12,59
5	C3	0,72	11,09	0,72	6,93	11,09
	C4	0,34	10,72	0,53	5,13	10,90
	C5	0,05	10,42	0,37	3,57	10,74
	C1	-0,50	9,88	0,15	1,48	10,53
	C2	-0,61	9,76	0,00	0,00	10,37
6	C3	0,55	9,74	0,55	5,96	9,74
	C4	0,29	9,49	0,42	4,58	9,62

Continua...

6	C1	0,09	9,29	0,31	3,39	9,51
	C5	-0,26	8,93	0,17	1,84	9,36
	C2	-0,68	8,52	0,00	0,00	9,19

g+ge: efeito genotípico por espaçamento; u+g+ge: valor genotípico predito com capitalização da interação com os espaçamentos.

Tabela 11. Estimativas do ganho genético predito (BLUP individual) para o caráter altura total (HT) em clones de *Eucalyptus* spp. e *Corymbia* spp. considerando o desempenho em cada espaçamento.

Table 11. Estimates of predicted genetic gain (individual BLUP) for the character total height variable (HT) in *Eucalyptus* spp. and *Corymbia* spp. considering the performance in each spacing.

Espaçamento	HT					
	Genótipo	g+ge	u+g+ge	Ganho	Ganho %	Nova Média
1	C4	3,00	19,20	3,00	18,50	19,20
	C5	1,93	18,13	2,46	15,20	18,67
	C3	-0,26	15,95	1,56	9,61	17,76
	C2	-2,30	13,91	0,59	3,66	16,80
	C1	-2,37	13,83	0,00	0,00	16,21
2	C4	2,79	18,78	2,79	17,45	18,78
	C5	1,22	17,20	2,00	12,53	17,99
	C3	-0,11	15,88	1,30	8,13	17,29
	C2	-1,86	14,13	0,51	3,19	16,50
	C1	-2,04	13,94	0,00	0,00	15,99
3	C4	2,42	17,86	2,42	15,67	17,86
	C5	0,41	15,85	1,42	9,17	16,85
	C3	0,24	15,67	1,02	6,62	16,46
	C2	-1,51	13,93	0,39	2,53	15,83
	C1	-1,56	13,88	0,00	0,00	15,44
4	C4	3,04	19,51	3,04	18,42	19,51
	C5	1,60	18,07	2,32	14,06	18,79
	C3	-0,18	16,30	1,49	9,01	17,96
	C2	-1,70	14,78	0,69	4,18	17,17
	C1	-2,76	13,72	0,00	0,00	16,48
5	C4	2,32	17,70	2,32	15,04	17,70
	C5	1,52	16,91	1,92	12,46	17,31

	C3	-0,27	15,12	1,19	7,73	16,58
	C2	-1,66	13,73	0,48	3,11	15,87
	C1	-1,91	13,48	0,00	0,00	15,39
6	C4	1,84	16,61	1,84	12,44	16,61
	C5	0,52	15,30	1,18	8,00	15,95
	C3	-0,06	14,71	0,77	5,19	15,54
	C1	-0,74	14,03	0,39	2,63	15,16
	C2	-1,56	13,22	0,00	0,00	14,77

g+ge: efeito genotípico por espaçamento; u+g+ge: valor genotípico predito com capitalização da interação com os espaçamentos.

Tabela 12. Estimativas do ganho genético predito (BLUP individual) para o caráter volume individual (VOL) em clones de *Eucalyptus* spp. e *Corymbia* spp. considerando o desempenho em cada espaçamento.

Table 12. Estimates of predicted genetic gain (individual BLUP) for the character individual volume variable (VOL) in *Eucalyptus* spp. and *Corymbia* spp. considering the performance in each spacing.

Espaçamento	VOL					
	Genótipo	g+ge	u+g+ge	Ganho	Ganho %	Nova Média
1	C4	0,0290	0,1441	0,0290	25,20	0,1441
Continuação...						
1	C5	0,0205	0,1356	0,0248	21,55	0,1398
	C3	0,0146	0,1296	0,0214	18,59	0,1364
	C1	-0,0310	0,0841	0,0083	7,21	0,1233
	C2	-0,0331	0,0820	0,0000	0,00	0,1151
2	C4	0,0173	0,0966	0,0173	21,82	0,0966
	C3	0,0134	0,0927	0,0154	19,42	0,0947
	C5	0,0063	0,0856	0,0123	15,51	0,0916
	C2	-0,0180	0,0613	0,0048	6,05	0,0841
	C1	-0,0190	0,0603	0,0000	0,00	0,0793
3	C4	0,0146	0,0751	0,0146	24,13	0,0751
	C3	0,0085	0,0689	0,0115	19,01	0,0720
	C5	-0,0010	0,0594	0,0073	12,07	0,0678
	C1	-0,0106	0,0499	0,0029	4,79	0,0634

	C2	-0,0115	0,0490	0,0000	0,00	0,0605
4	C4	0,0331	0,1454	0,0331	29,47	0,1454
	C3	0,0208	0,1330	0,0270	24,04	0,1392
	C5	0,0114	0,1237	0,0218	19,41	0,134
	C2	-0,0284	0,0838	0,0092	8,19	0,1215
	C1	-0,0369	0,0753	0,0000	0,00	0,1123
5	C4	0,0144	0,0852	0,0144	20,34	0,0852
	C3	0,0084	0,0792	0,0114	16,10	0,0822
	C5	0,0068	0,0776	0,0099	13,98	0,0807
	C1	-0,0137	0,0571	0,0040	5,65	0,0748
	C2	-0,0159	0,0549	0,0000	0,00	0,0708
6	C4	0,0098	0,0641	0,0098	18,05	0,0641
	C3	0,0070	0,0613	0,0084	15,47	0,0627
	C1	-0,0014	0,0529	0,0051	9,39	0,0594
	C5	-0,0018	0,0526	0,0034	6,26	0,0577
	C2	-0,0136	0,0408	0,0000	0,00	0,0543

g+ge: efeito genotípico por espaçamento; u+g+ge: valor genotípico predito com capitalização da interação com os espaçamentos.

Tabela 13. Produtividade, estabilidade e adaptabilidade (MHPRVG e MHPRVG* μ) dos valores genotípicos de clones de *Eucalyptus* spp. e *Corymbia* spp. para os caracteres diâmetro à altura do peito (DAP), altura total (HT) e volume individual (VOL).

Table 13. Productivity, stability and adaptability (HMRPGV and HMRPGV * μ) of the genotypic values of *Eucalyptus* spp. and *Corymbia* spp. for the characters diameter at breast height (DBH), total height (HT) and individual volume (VOL).

DAP			HT			VOL		
Clone	MHPRVG	MHPRVG* μ	Clone	MHPRVG	MHPRVG* μ	Clone	MHPRVG	MHPRVG* μ
C3	1,07	11,70	C4	1,16	18,26	C4	1,2306	0,1010
C4	1,04	11,34	C5	1,07	16,88	C3	1,1442	0,0939
C5	1,00	10,92	C3	0,99	15,61	C5	1,0628	0,0872
C1	0,95	10,34	C2	0,89	13,95	C1	0,7839	0,0643
C2	0,93	10,18	C1	0,88	13,81	C2	0,7602	0,0624

MHPRVG: média harmônica do desempenho relativo dos valores genotípicos; MHPRVG* μ : refere-se à MHPRVG multiplicada pela média geral em todos os espaçamentos.

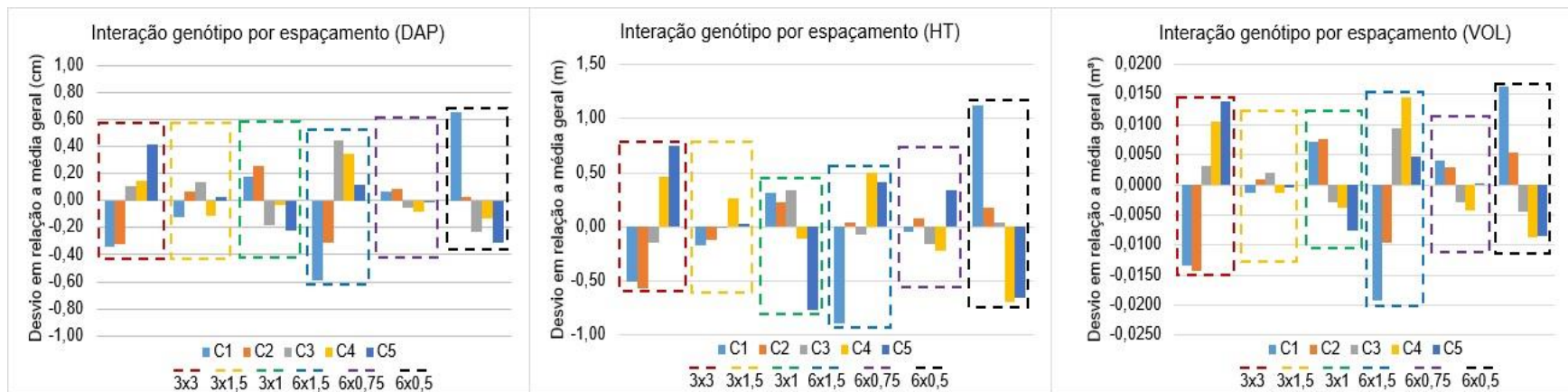


Figura 2. Interação genótipo por espaçamento, para os caracteres diâmetro a altura do peito (DAP), altura total (HT) e volume individual (VOL) para cada clone em cada espaçamento.

Figure 2. Interaction genotype by spacing, for the character diameter to breast height (DBH), total height (HT) and individual volume (VOL) for each clone in each spacing.

Tabela 14. Eficiência da seleção indireta e correlação genética entre os clones avaliados para os caracteres diâmetro a altura do peito (DAP), altura total (HT) e volume individual (VOL).

Table 14. Efficiency of indirect selection and genetic correlation among the clones evaluated for diameter, breast height (DBH), total height (HT) and individual volume (VOL).

	DAP	HT	VOL
DAP	1,00	0,68	0,90
HT	0,70	1,00	0,91
VOL	0,93	0,92	1,00

A diagonal superior refere-se à eficiência da seleção indireta e a diagonal inferior refere-se a correlação genética entre os caracteres.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

FINAL CONSIDERATIONS

No setor florestal a mensuração dos caracteres diâmetro a altura do peito (DAP) e da altura total (HT) do indivíduo são fundamentais para o inventário florestal, sendo os dados de crescimento diretamente relacionados à estimativa do volume de madeira do povoamento. Normalmente para estudos de inventário realiza-se a medição do diâmetro de todas as árvores em uma parcela e a altura de algumas (MACHADO et al., 1994; PENG; WEN, 1999). Isso ocorre em função da dificuldade de mensuração da altura total e comercial constituir um fator que onera os custos do inventário florestal (FREITAS et al., 2005; TOMÉ; RIBEIRO; FAIA., 2007).

Assim, tendo em vista a redução de custos, pesquisadores têm desenvolvido modelos matemáticos capazes de expressarem a relação entre o diâmetro e a altura das árvores (ANDRADE et al., 2006). Essa relação, denominada relação hipsométrica permite a estimativa da altura das árvores remanescentes, que não foram medidas, em função dos seus valores de diâmetro obtidos no inventário.

No entanto, a relação hipsométrica é influenciada por diversas de variáveis, como idade, sítio, espaçamento, material genético e tratamentos silviculturais, o que dificulta a sua modelagem. Assim, para o ajuste de modelos hipsométricos faz-se necessário compreender os fatores que afetam o crescimento das árvores em análise. Em alguns casos é necessária, ainda, a seleção de uma metodologia de amostragem que considere a heterogeneidade dos sítios avaliados, para que as variações sejam minimizadas durante os procedimentos estatísticos e a fim de garantir a representatividade em toda amplitude diâmetro/altura das parcelas, fundamental para a correta aplicação de uma regressão (BARTOSZECK et al., 2004; THOMAS et al., 2006; RIBEIRO et al., 2010).

O crescimento em diâmetro é influenciado, principalmente, por tratos silviculturais relacionados à densidade de indivíduos no povoamento. A redução da competição entre os indivíduos, em função da menor densidade, favorece o desenvolvimento diamétrico (ARANDA et al., 2003). No entanto, o crescimento em altura, embora também seja influenciada por alguns tratos silviculturais como podas e desbastes, sofre maior influência dos fatores ambientais (KOEHLER, 2009).

Nesse sentido, a relação hipsométrica pode ser influenciada por diferentes espaçamentos e a seleção de um único modelo para um mesmo clone quando o tem em espaçamentos distintos se torna uma atividade trabalhosa. Ao se utilizar modelos tradicionais para realizar as estimativas do caráter altura total (HT), nem sempre são obtidos os melhores ajustes e desta forma dificulta ainda mais o processo de decisão.

A dificuldade de obtenção de melhores ajustes em espaçamentos de plantios menos comuns em florestas equiâneas, pode ser devido à descaracterização da relação hipsométrica, que segundo Machado et al. (2011) pode ser causada pela homogeneização das alturas independentemente da distribuição diamétrica. Entretanto, mesmo em modelos cujo valor obtido para $R^2_{aj.}$ é baixo, pode-se considerar o ajuste como satisfatório ao observar o $Syx\%$ e a distribuição dos resíduos (RODRIGUES et al., 2017).

A inclusão de covariantes, como idade e material genético, em modelos de relação hipsométricos tem proporcionado a obtenção de estimativas mais precisas (GUIMARÃES et al., 2009; MENDONÇA et al., 2011; MENDONÇA; CARVALHO; CALEGARIO, 2015). O que permite analisar a relação hipsométrica de forma geral e não apenas local, como realizado nesse estudo. Isso ocorre porque além do DAP, a variação da altura pode ser

explicada por outras variáveis como idade, altura dominante, diâmetro dominante, área basal, número de árvores por hectare, sitio e material genético (CURTIS, 1967; MISIR, 2010; MENDONÇA et al., 2011; STANKOVA; DIÉGUEZ-ARANDA, 2013; MENDONÇA; CARVALHO; CALEGARIO, 2015). Porém, embora um maior número de variáveis explicativas incluídas em uma equação proporcione uma maior precisão, melhores estimativas e generalização do uso, a inclusão de novas variáveis pode tornar a equação complexa e com excesso de parâmetros, o que torna necessário o equilíbrio entre precisão e parcimônia.

As análises locais são mais simples, pois são modeladas apenas em função do DAP, sendo aplicadas apenas nos povoamentos em que os dados foram medidos ou em povoamento com características homogêneas (TOMÉ; RIBEIRO; FAIA, 2007). No entanto, como pode ser observado com base nos resultados obtidos neste estudo, alguns modelos, a exemplo dos modelos 5 e 6, podem ser aplicados de maneira generalizada em diferentes composições de análise, onde há a variação dos fatores material genético e espaçamento.

Espaçamento de plantio é um dos fatores que influencia de forma direta o desenvolvimento de árvores. O emprego de espaçamentos mais adensados entre linhas em vista à maior produtividade em unidade de área, nem sempre são os mais indicados devido a proporcionarem efeitos negativos como a instabilidade genotípica, que por sua vez, reduz o potencial de crescimento dos indivíduos. Concomitantemente, o emprego de espaçamentos mais amplos entre linhas, e mais adensados entre plantas, também não garantem maior produtividade devido ao seu desenvolvimento ser penalizado pela instabilidade genotípica. Desta forma, ambas estratégias podem suprimir a expressão

máxima de um determinado genótipo. A interação GxE aqui analisada, embora classificada como simples e, portanto, não ocasionando problemas para a seleção de genótipos, ocasiona perdas no crescimento dos indivíduos em determinados espaçamentos.

Adicionalmente, os ganhos com a seleção obtidos para os clones em cada espaçamento nas três diferentes estratégias de seleção, apontam que é possível obter um novo povoamento de maior produtividade utilizando os clones de maior adaptabilidade e estabilidade genotípica. Com isto, é esperado que as relações hipsométricas sejam mais fortes, uma vez que os espaçamentos que favoreceram a adaptabilidade e estabilidade genotípica devem ser priorizados. Desta forma, também pode ser esperado que apenas um modelo hipsométrico simples/local seja o suficiente para realizar as estimativas do caráter altura em um determinado clone nos espaçamentos que o propicia maior adaptabilidade e estabilidade genotípica. Ou de maneira geral, para um clone que tenha apresentado ampla adaptabilidade e estabilidade.

Esta possibilidade, caso de fato verdadeira, poderá auxiliar na simplificação da análise de dados de inventário, pois haveria uma significativa redução de modelos a serem ajustados. Desta forma, reduzindo o tempo dedicado a esta atividade, além da obtenção de melhores ajustes por meio de modelos mais simples.

Por fim, salienta-se que a procura por genótipos produtivos, adaptados e estáveis deve ser constante, uma vez que, a instabilidade genotípica devido a interação GxE é um dos fatores que ocasionam a perda de produtividade de plantios florestais e que por muitas vezes é negligenciado. Embora estudos como este tenham grande importância

para o setor, ainda é necessário um maior entendimento sobre estas interações, e da vantagem econômica proporcionada por cada espaçamento utilizado.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, V. C. L.; MARTINS, S. V.; CALEGARIO, N.; CHICHORRO, J. F. Influência de três sistemas de amostragem na estimativa da relação hipsométrica e do volume de árvores em um fragmento de Mata Atlântica. **Scientia Forestalis**, n.70, p.31-37, 2006.
- ARANDA, U. D.; ANTA, M. B.; DORADO, F. C.; GONZÁLEZ, A. D. R.; TABOADA, M. F. A.; GONZÁLEZ, J. G. A.; ALBORECA, A. R. **Dendrometría**. Madrid: Mundi Prensa. 2003.
- BARTOSZECK, A. C. P. S.; MACHADO, S. do A.; FIGUEIREDO FILHO, A.; OLIVEIRA, E. B. Dinâmica da relação hipsométrica em função da idade, do sítio e da densidade inicial de povoamentos de bracatinga da região metropolitana de Curitiba, Paraná. **Revista Árvore**, v. 28, n. 4, p. 517-533, 2004.
- CURTIS, R. Height-diameter and height-diameter-age equations for second growth Douglas-fir. **Forest science**, Amsterdam, v. 13, n. 4, p. 365-375, 1967.
- FREITAS, L. J. M.; SOUZA, A. L.; LEITE, H. G.; SILVA, M. L. Análise técnica e estimativas de custos de inventário de prospecção em uma floresta estacional semidecidual submontana. **Revista Árvore**, v.29, n.1, p. 65-75, 2005.
- GUIMARÃES, M. A. M.; CALEGÁRIO, N.; CARVALHO, L. M. T. de; TRUGILHO, P. F. Height-diameter models in forestry with inclusion of covariates. **Cerne**, v. 15, n. 3, p. 313-321, 2009.
- KOEHLER, A. B. **Modelagem biométrica e morfometria em povoamentos jovens de Araucaria angustifolia (Bert.) Ktze., em Tijuca do Sul, Estado do Paraná**. 2009, 204f.

Tese (Doutorado em Engenharia Florestal). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR.

MACHADO, S. A.; BAILEY, R. L.; BASSO, S. F.; BEVILACQUA JÚNIOR, V. G. Análise do comportamento da relação hipsométrica com respeito a idade para plantação de *Pinus ellioti* no Estado do Paraná. **Cerne**, v.1, n.1, p. 05-12, 1994.

MACHADO, S. A.; BARROS, D. A.; SCOLFORO, J. R.; ACERBI JÚNIOR, F. W. The effects of successive thinning on the hypsometric function for *Pinus oocarpa* stands. **Floresta**, v. 41, n. 2, p. 397-406, 2011.

MENDONÇA, A. R.; CALEGARIO, N.; SILVA, G. F.; BORGES, L. A. C.; CARVALHO, S. P. C. Modelos hipsométricos e de crescimento em altura das árvores dominantes e codominantes para *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 39, n. 90, p. 151-160, jun. 2011.

MENDONÇA, A. R.; CARVALHO, S. P. C.; CALEGARIO, N. Modelos hipsométricos generalizados mistos na predição da altura de *Eucalyptus* sp. **Cerne**, Lavras, v. 21, n. 1, p. 107-115, 2015.

MISIR, N. Generalized height-diameter models for *Populus tremula* L. stands. **African Journal of Biotechnology**, Ebène, v. 9, n. 28, p. 4348-4355, jul. 2010.

PENG, C.; WEN, X. Recent applications of artificial neural networks in forest resource management: an overview. In: Corté, U.; Sànchez - Marrè, M., eds. **Environmental Decision Support Systems and Artificial Intelligence**. Menlo Park, AAAI Press, 1999. p.15-22.

RIBEIRO, A.; FERRAZ FILHO, A. C.; MELLO, J. M.; FERREIRA, M. Z.; LISBOA, M. P. M.; SCOLFORO, J. R. S. Estratégias e metodologias de ajuste de modelos hipsométricos em plantios de *Eucalyptus* sp. **Cerne**, v.16, n.1, p. 22-31, 2010.

RODRIGUES, C. K.; LOPES, E. S.; FILHO, A. F.; PELISSARI, A. L. Identidade de modelos hipsométricos e volumétricos de povoamentos de *Pinus* com diferentes idades submetidos ao desbaste mecanizado. **Biofix Scientific Journal**, Paraná, v. 2, p. 54-59, 2017.

STANKOVA, T. V.; DIÉGUEZ-ARANDA, U. Height-diameter relationships for Scots pine plantations in Bulgaria: optimal combination of model type and application. **Annals of Forest Research**, Voluntari, v. 56, n. 1, p. 149-163, 2013.

THOMAS, C.; MARTINS, C. A.; SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G.; COSTA, A. F.; VALE, A. T. Comparação de equações volumétricas ajustadas com dados de cubagem e análise de tronco. **Ciência Florestal**, v.16, n.3, 45 p.319-327, 2006.

TOMÉ, M.; RIBEIRO, F.; FAIA, S. Relação Hipsométrica geral para *Eucalyptus globulus* Labill. em Portugal. **Silva Lusitana**, v.15, n.1, p. 41-55, 2007.

APÊNDICE A - COEFICIENTES ESTIMADOS PARA OS SEIS MODELOS HIPNOMÉTRICOS TESTADOS PARA CADA CLONE E ESPAÇAMENTO

Clone	Esp.	Modelo	β_0	β_1	β_2	R^2	$R^2_{aj.}$	Syx	Syx%	DMP%	F
C1	3x1	1	1,1021	2,3764	-0,1044	0,82	0,82	1,09	8,37	0,00	348,20**
	3x1	2	5,5750	0,8933	-	0,74	0,73	1,31	10,03	0,00	436,98**
	3x1	3	16,3042	-22,6305	-	0,75	0,74	1,29	9,85	0,00	458,81**
	3x1	4	1,3354	0,5855	-	0,84	0,84	1,11	8,49	0,00	851,40**
	3x1	5	2,9026	-2,5220	-	0,86	0,86	1,10	8,43	0,00	992,25**
	3x1	6	2,2692	0,2401	-1,5532	0,88	0,88	1,10	8,39	0,00	561,35**
C2	3x1	1	-1,1416	2,6536	-0,1086	0,59	0,89	1,29	9,51	0,00	143,19**
	3x1	2	5,1533	0,9527	-	0,54	0,54	1,36	10,05	0,00	234,36**
	3x1	3	17,8226	-35,8373	-	0,51	0,51	1,41	10,38	0,00	207,16**
	3x1	4	1,2209	0,6369	-	0,71	0,71	1,10	8,09	0,00	478,78**
	3x1	5	3,0091	-3,4809	-	0,69	0,69	1,10	8,11	0,00	444,34**
	3x1	6	1,9177	0,3925	-1,4256	0,72	0,72	1,09	8,08	0,00	252,48**
C3	3x1	1	0,5837	2,6412	-0,1109	0,71	0,71	1,12	7,28	0,00	243,37**
	3x1	2	8,0721	0,7407	-	0,57	0,57	1,35	8,79	0,00	269,87**
	3x1	3	18,9517	-32,6481	-	0,65	0,64	1,22	7,99	0,00	7,99**
	3x1	4	1,5337	0,5260	-	0,70	0,70	1,10	7,19	0,00	480,56**
	3x1	5	3,0569	-3,0619	-	0,77	0,77	1,09	7,11	0,00	661,07**
	3x1	6	2,7348	0,0784	-2,6494	0,77	0,77	1,09	7,11	0,00	332,10**
C4	3x1	1	4,4713	1,3523	-0,0172	0,69	0,68	1,10	5,77	0,00	82,03**
	3x1	2	6,4667	0,9707	-	0,69	0,69	1,10	5,77	0,00	164,05**
	3x1	3	25,3402	-78,6257	-	0,61	0,61	1,23	6,43	0,00	116,80**
	3x1	4	1,3866	0,6095	-	0,76	0,75	1,08	6,14	0,00	229,41**
	3x1	5	3,3483	-5,1066	-	0,72	0,72	1,07	6,10	0,00	193,00**

Continuação...

C4	3x1	6	1,5041	0,5733	-0,3178	0,76	0,75	1,07	6,10	0,00	113,24**
C5	3x1	1	-2,3199	2,5508	-0,0739	0,74	0,73	0,95	5,35	0,00	106,03**
	3x1	2	6,9973	0,8641	-	0,70	0,69	1,01	5,71	0,00	175,72**
	3x1	3	25,9991	-100,2000	-	0,74	0,74	0,93	5,26	0,00	3,71**
	3x1	4	1,3199	0,6178	-	0,75	0,75	1,06	6,88	0,00	233,41**
	3x1	5	3,4051	-6,4888	-	0,79	0,78	1,06	6,83	0,00	277,68**
	3x1	6	4,5298	-0,3358	-9,9124	0,79	0,78	1,06	6,83	0,00	140,54**
C1	3x1,5	1	0,8049	2,3569	-0,1023	0,73	0,72	0,72	5,23	0,00	118,11**
	3x1,5	2	8,4160	0,5404	-	0,53	0,52	0,95	6,88	0,00	98,45**
	3x1,5	3	17,4851	-34,9155	-	0,73	0,72	0,72	5,22	0,00	236,98**
	3x1,5	4	1,6254	0,4362	-	0,66	0,66	1,07	7,81	0,00	171,77**
	3x1,5	5	2,9610	-3,2404	-	0,77	0,77	1,06	7,71	0,00	300,77**
	3x1,5	6	4,4266	-0,4912	-6,5282	0,81	0,81	1,06	7,67	0,00	190,98**
C2	3x1,5	1	3,2674	1,6923	-0,0611	0,45	0,44	0,88	6,32	0,00	42,94**
	3x1,5	2	8,0585	0,5919	-	0,41	0,41	0,91	6,48	0,00	75,45**
	3x1,5	3	17,6257	-35,5755	-	0,44	0,44	0,88	6,32	0,00	85,26**
	3x1,5	4	1,6657	0,4221	-	0,52	0,51	1,07	7,62	0,00	113,98**
	3x1,5	5	2,9453	-3,0406	-	0,54	0,54	1,06	7,61	0,00	126,63**
	3x1,5	6	2,7811	0,0549	-2,6674	0,54	0,53	1,06	7,61	0,00	62,86**
C3	3x1,5	1	1,6510	2,1331	-0,0767	0,81	0,81	0,81	5,19	0,00	5,19**
	3x1,5	2	8,7507	0,5935	-	0,66	0,65	1,07	6,92	0,00	214,44**
	3x1,5	3	19,5354	-42,2845	-	0,77	0,77	0,89	5,71	0,00	368,27**
	3x1,5	4	1,67	0,44	-	0,78	0,78	1,07	6,88	0,00	396,61**
	3x1,5	5	3,0539	-3,3734	-	0,84	0,83	1,06	6,82	0,00	571,59**
	3x1,5	6	3,0758	-0,0071	-3,4242	0,84	0,83	1,06	6,82	0,00	283,27**
C4	3x1,5	1	-5,6833	3,9179	-0,1525	0,45	0,44	1,64	8,78	0,00	42,90**

Continuação...

C4	3x1,5	2	7,0374	1,0636	-	0,37	0,36	1,76	9,40	0,00	60,98**
	3x1,5	3	24,8734	-66,1667	-	0,45	0,45	1,64	8,76	0,00	85,67**
	3x1,5	4	1,0870	0,7685	-	0,67	0,67	1,09	5,81	0,00	210,67**
	3x1,5	5	3,4409	-5,5749	-	0,77	0,77	1,07	5,73	0,00	343,87**
	3x1,5	6	4,6465	-0,4023	-8,2082	0,78	0,78	1,07	5,73	0,00	182,56**
C5	3x1,5	1	-4,3908	3,4366	-0,1324	0,61	0,60	0,94	5,50	0,00	80,66**
	3x1,5	2	8,4953	0,7883	-	0,52	0,51	1,04	6,08	0,00	112,47**
	3x1,5	3	23,9704	-73,5096	-	0,62	0,61	0,93	5,41	0,00	169,52**
	3x1,5	4	1,5181	0,5528	-	0,59	0,58	1,07	6,25	0,00	149,66**
	3x1,5	5	3,3216	-5,2116	-	0,65	0,65	1,06	6,22	0,00	198,66**
	3x1,5	6	6,5356	-1,0025	-14,0600	0,70	0,69	1,06	6,19	0,00	121,10**
C1	3x3	1	8,4437	0,3278	0,0104	0,37	0,34	1,08	7,95	-0,45	11,81**
	3x3	2	7,4074	0,5392	-	0,37	0,35	1,06	7,86	0,00	24,12**
	3x3	3	17,7124	-46,4258	-	0,33	0,32	1,09	8,05	0,00	20,94**
	3x3	4	1,6303	0,4008	-	0,39	0,38	1,08	7,98	0,00	27,12**
	3x3	5	2,9258	-3,6134	-	0,37	0,36	1,08	7,99	0,00	24,99**
	3x3	6	0,2695	0,8184	3,8909	0,40	0,37	1,08	7,98	0,00	13,62**
C2	3x3	1	5,8776	0,7336	-0,0047	0,52	0,50	1,16	8,44	0,00	27,81**
	3x3	2	6,3225	0,6389	-	0,52	0,51	1,15	8,37	0,00	56,62**
	3x3	3	17,6890	-44,3021	-	0,46	0,45	1,21	8,83	0,00	45,42**
	3x3	4	1,4584	0,4738	-	0,57	0,56	1,09	7,95	0,00	70,78**
	3x3	5	2,9441	-3,7095	-	0,54	0,53	1,09	7,97	0,00	62,18**
	3x3	6	0,9396	0,6376	1,3417	0,57	0,56	1,09	7,95	0,00	35,05**
C3	3x3	1	2,7066	1,7187	-0,0537	0,81	0,80	0,98	6,26	0,00	128,55**
	3x3	2	8,0315	0,5533	-	0,63	0,62	1,36	8,72	0,00	102,70**
	3x3	3	18,2511	-30,5050	-	0,80	0,79	1,01	6,44	0,00	239,04**

Continuação...

C3	3x3	4	1,5418	0,4639	-	0,83	0,83	1,08	6,92	0,00	303,83**
	3x3	5	2,9741	-2,7964	-	0,88	0,88	1,07	6,83	0,00	466,08**
	3x3	6	2,9449	0,0095	-2,7423	0,88	0,88	1,07	6,83	0,00	229,27**
C4	3x3	1	1,2484	2,1435	-0,0596	0,92	0,92	0,96	5,27	0,00	338,65**
	3x3	2	4,4914	1,0947	-	0,89	0,89	1,12	6,11	0,00	487,65**
	3x3	3	21,1488	-28,9779	-	0,76	0,76	1,68	9,17	0,00	184,99**
	3x3	4	1,2570	0,6541	-	0,95	0,95	1,07	5,86	0,00	1040,36**
	3x3	5	3,1403	-2,6754	-	0,87	0,87	1,11	6,10	0,00	377,51**
	3x3	6	1,2815	0,6457	-0,0377	0,95	0,95	1,07	5,86	0,00	511,36**
C5	3x3	1	-0,2296	2,2935	-0,0683	0,92	0,91	0,95	5,52	0,00	280,61**
	3x3	2	3,9765	1,0581	-	0,86	0,86	1,22	7,05	-0,01	322,56**
	3x3	3	20,7265	-36,2416	-	0,86	0,85	1,24	7,20	0,00	307,66**
	3x3	4	0,9570	0,7500	-	0,95	0,95	1,08	6,24	0,00	918,25**
	3x3	5	3,1665	-3,6713	-	0,94	0,94	1,08	6,25	0,00	848,77**
	3x3	6	1,9598	0,4111	-1,7066	0,96	0,96	1,07	6,19	0,00	565,14**
C1	6x0,5	1	-1,2685	2,8971	-0,1274	0,73	0,73	2,36	19,03	0,00	137,03**
	6x0,5	2	3,5847	1,1083	-	0,63	0,63	2,74	22,16	0,00	174,79**
	6x0,5	3	16,0681	-20,1905	-	0,61	0,60	2,84	22,90	0,00	157,22**
	6x0,5	4	0,8884	0,7905	-	0,90	0,90	1,17	9,47	0,00	921,75**
	6x0,5	5	2,9131	-2,6973	-	0,88	0,87	1,19	9,65	0,01	715,84**
	6x0,5	6	1,6525	0,4977	-1,0776	0,92	0,92	1,16	9,35	0,00	554,14**
C2	6x0,5	1	2,0023	1,9408	-0,0715	0,49	0,48	1,81	14,17	0,00	64,82**
	6x0,5	2	5,2906	0,9255	-	0,47	0,47	1,83	14,37	0,00	121,49**
	6x0,5	3	17,1047	-32,1617	-	0,46	0,46	1,85	14,50	0,00	116,57**
	6x0,5	4	1,2159	0,6363	-	0,61	0,61	1,16	9,11	0,00	210,00**
	6x0,5	5	2,9955	-3,5054	-	0,61	0,61	1,16	9,11	0,00	211,35**

Continuação...

C2	6x0,5	6	2,1511	0,3038	-1,8705	0,62	0,61	1,16	9,10	0,00	107,58**
C3	6x0,5	1	1,8422	2,0033	-0,0672	0,79	0,79	1,44	10,33	0,00	251,56**
	6x0,5	2	5,2799	0,9558	-	0,74	0,74	1,60	11,51	0,00	378,66**
	6x0,5	3	17,2783	-24,3593	-	0,69	0,69	1,76	12,66	0,00	290,71**
	6x0,5	4	1,2632	0,6267	-	0,81	0,81	1,15	8,26	0,00	565,65**
	6x0,5	5	2,9624	-2,6693	-	0,81	0,81	1,15	8,27	0,00	549,62**
	6x0,5	6	2,0563	0,3378	-1,3009	0,83	0,83	1,14	8,20	0,00	320,12**
C4	6x0,5	1	6,4652	0,8282	0,0241	0,60	0,60	1,88	11,84	0,00	97,62**
	6x0,5	2	4,6051	1,2614	-	0,60	0,60	1,88	11,82	0,00	195,32**
	6x0,5	3	25,1648	-79,1604	-	0,56	0,55	1,98	12,45	0,00	163,15**
	6x0,5	4	1,2199	0,7049	-	0,69	0,69	1,11	6,97	0,00	287,96**
	6x0,5	5	3,3928	-5,4946	-	0,70	0,69	1,11	6,96	0,00	298,37**
	6x0,5	6	2,7312	0,2158	-3,8442	0,70	0,69	1,11	6,96	0,00	149,28**
C5	6x0,5	1	-5,2036	3,8186	-0,1662	0,56	0,56	1,89	12,80	0,00	82,18**
	6x0,5	2	5,2264	1,1160	-	0,50	0,50	2,01	13,63	0,00	128,68**
	6x0,5	3	22,3737	-61,5617	-	0,55	0,55	1,91	12,93	0,00	157,43**
	6x0,5	4	1,1273	0,7281	-	0,62	0,62	1,14	7,77	0,00	209,55**
	6x0,5	5	3,3115	-5,1802	-	0,66	0,65	1,14	7,71	0,00	245,52**
	6x0,5	6	4,1140	-0,2710	-7,0230	0,66	0,65	1,14	7,71	0,00	123,33**
C1	6x0,75	1	0,3770	2,5058	-0,1151	0,75	0,74	1,18	9,35	0,00	72,82**
	6x0,75	2	0,6039	1,4672	-	0,61	0,60	1,47	11,59	-0,05	77,24**
	6x0,75	3	16,5779	-29,6428	-	0,75	0,74	1,19	9,38	0,00	143,66**
	6x0,75	4	1,4517	0,5037	-	0,72	0,71	1,13	8,95	0,00	124,74**
	6x0,75	5	2,9236	-3,0846	-	0,81	0,81	1,11	8,75	0,00	208,35**
	6x0,75	6	3,5943	-0,2352	-4,3987	0,82	0,81	1,11	8,74	0,00	108,76**
C2	6x0,75	1	-0,8154	2,5354	-0,1056	0,58	0,57	1,15	8,45	0,00	47,04**
	6x0,75	2	5,7684	0,8051	-	0,51	0,50	1,24	9,13	0,00	69,85**

Continuação...

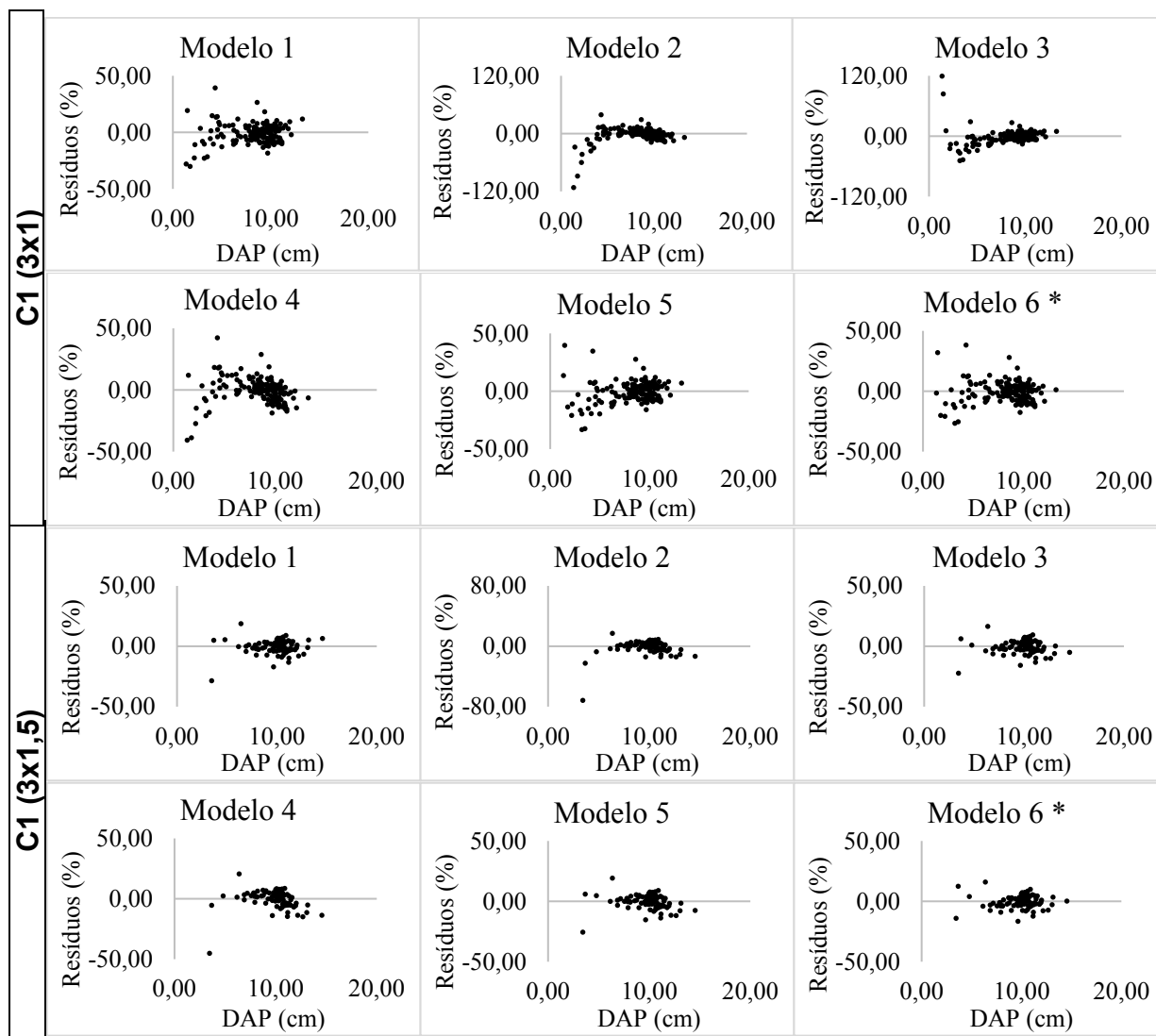
C2	6x0,75	3	17,6503	-37,5399	-	0,59	0,59	1,13	8,28	0,00	99,78**
	6x0,75	4	1,1572	0,6387	-	0,67	0,67	1,10	8,10	0,00	138,26**
	6x0,75	5	3,0277	-3,9775	-	0,74	0,73	1,09	8,02	0,00	190,06**
	6x0,75	6	3,5104	-0,1677	-4,9435	0,74	0,73	1,09	8,02	0,00	95,00**
C3	6x0,75	1	-0,4138	2,5130	-0,0980	0,76	0,75	0,91	6,09	0,00	111,01**
	6x0,75	2	7,9040	0,6434	-	0,55	0,55	1,22	8,17	0,00	90,55**
	6x0,75	3	18,1319	-32,7530	-	0,69	0,69	1,01	6,79	0,00	163,64**
	6x0,75	4	1,4064	0,5443	-	0,75	0,75	1,09	7,30	0,00	220,82**
	6x0,75	5	3,0124	-3,2542	-	0,83	0,83	1,07	7,19	0,00	356,33**
	6x0,75	6	2,8656	0,0508	-2,9820	0,83	0,83	1,07	7,20	0,00	176,66**
C4	6x0,75	1	-31,5136	8,4599	-0,3575	0,50	0,49	1,61	9,27	0,00	34,72**
	6x0,75	2	5,5073	1,1088	-	0,38	0,37	1,79	10,30	0,00	42,15**
	6x0,75	3	28,9316	-119,8030	-	0,45	0,44	1,68	9,69	0,00	56,54**
	6x0,75	4	0,7009	0,9123	-	0,32	0,31	1,18	6,80	0,00	32,73**
	6x0,75	5	3,7501	-9,4190	-	0,35	0,34	1,18	6,78	0,00	37,89**
	6x0,75	6	20,5262	-5,0979	-59,3415	0,43	0,42	1,16	6,71	0,00	26,29**
C5	6x0,75	1	14,1854	0,0915	0,0168	0,05	0,02	3,55	21,09	0,00	1,73 ^{ns}
	6x0,75	2	12,9043	0,3944	-	0,05	0,03	3,53	20,96	0,00	3,44 ^{ns}
	6x0,75	3	19,1889	-22,0467	-	0,05	0,04	3,52	20,86	0,00	4,11**
	6x0,75	4	1,9954	0,3556	-	0,20	0,19	1,19	7,05	0,01	18,51**
	6x0,75	5	3,0558	-2,3571	-	0,22	0,21	1,19	7,04	0,01	20,06**
	6x0,75	6	2,9111	0,0493	-2,0535	0,22	0,19	1,19	7,04	0,01	9,91**
C1	6x1,5	1	10,2993	0,3302	-0,0040	0,22	0,20	1,02	7,62	0,00	9,54**
	6x1,5	2	10,7126	0,2459	-	0,22	0,21	1,01	7,56	0,00	19,27**
	6x1,5	3	14,7951	-14,5169	-	0,14	0,12	1,07	7,97	0,00	10,63**
	6x1,5	4	2,1765	0,1752	-	0,21	0,20	1,08	8,08	0,00	18,56**
	6x1,5	5	2,7051	-1,1810	-	0,15	0,14	1,09	8,11	0,00	11,99**

Continuação...

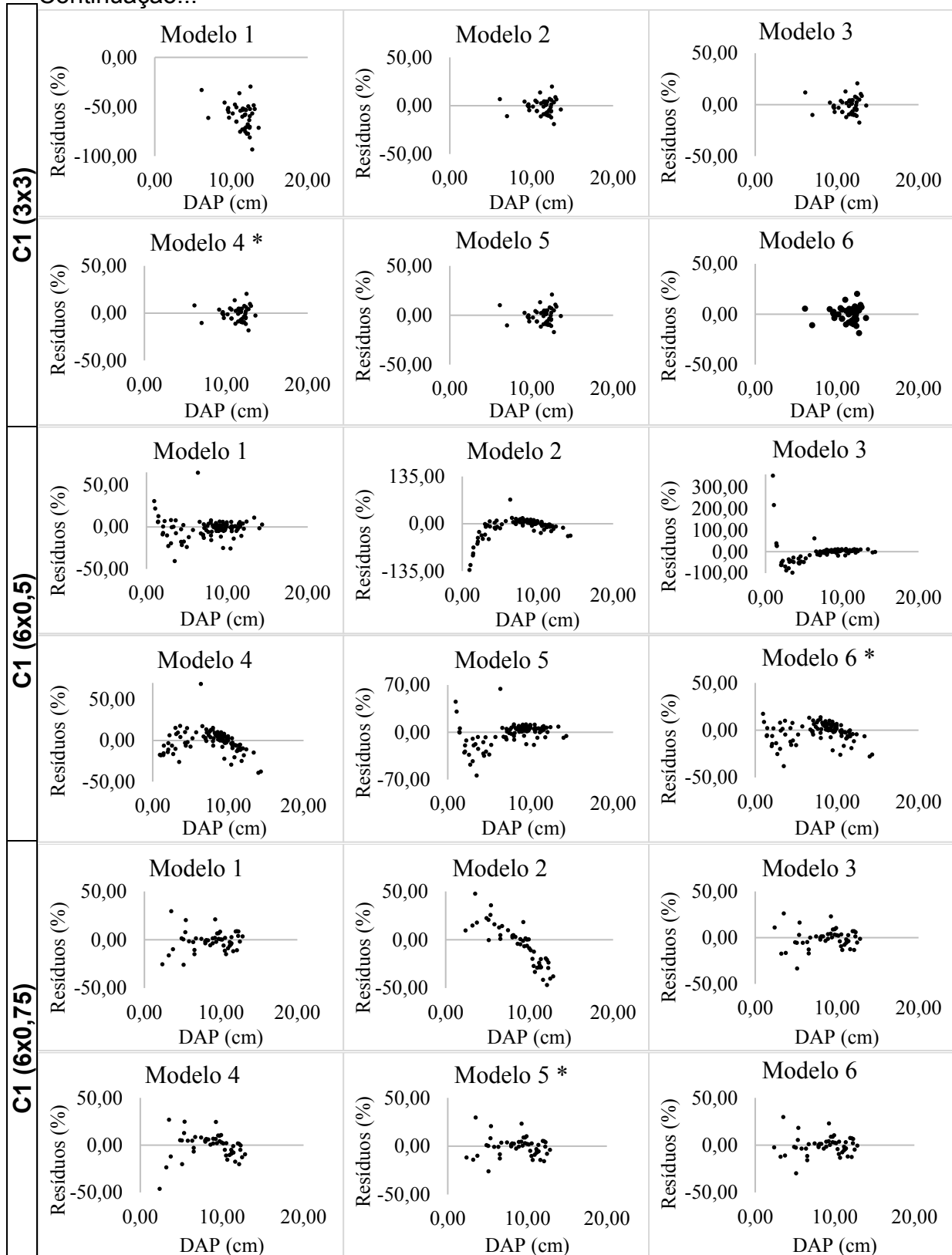
C1	6x1,5	6	0,8630	0,5898	3,4387	0,29	0,26	1,08	8,06	0,00	13,36**
C2	6x1,5	1	10,1684	-0,1192	0,0462	0,19	0,17	2,63	18,00	0,00	9,12**
	6x1,5	2	4,7202	0,8922	-	0,19	0,18	2,61	17,91	0,00	18,25**
	6x1,5	3	23,3372	-95,1229	-	0,18	0,17	2,64	18,09	0,00	16,36**
	6x1,5	4	1,2273	0,6013	-	0,30	0,29	1,13	7,75	0,00	32,78**
	6x1,5	5	3,2302	-6,1171	-	0,29	0,28	1,13	7,76	0,00	30,76**
	6x1,5	6	-1,9846	1,5581	10,0074	0,31	0,29	1,13	7,75	0,00	16,81**
C3	6x1,5	1	5,7369	1,2347	-0,0337	0,45	0,43	1,27	7,96	0,00	32,35**
	6x1,5	2	10,5120	0,4093	-	0,43	0,42	1,28	8,06	0,00	60,15**
	6x1,5	3	20,2336	-54,1184	-	0,45	0,44	1,26	7,90	0,00	65,99**
	6x1,5	4	1,9322	0,3244	-	0,47	0,47	1,08	6,80	0,00	72,90**
	6x1,5	5	3,0506	-3,6222	-	0,49	0,48	1,08	6,80	0,00	76,65**
	6x1,5	6	3,3592	-0,0900	-4,6058	0,49	0,47	1,08	6,80	0,00	37,94**
C4	6x1,5	1	4,4713	1,3523	-0,0172	0,69	0,68	1,04	5,77	0,00	82,03**
	6x1,5	2	6,4667	0,9707	-	0,69	0,69	1,10	5,76	0,00	164,05**
	6x1,5	3	25,3401	-78,6257	-	0,61	0,61	1,23	6,43	0,00	116,80**
	6x1,5	4	1,3866	0,6095	-	0,76	0,75	1,06	5,54	0,00	229,41**
	6x1,5	5	3,3483	-5,11	-	0,72	0,72	1,06	5,56	0,00	93,00**
	6x1,5	6	1,5041	0,5733	-3,3178	0,76	0,75	1,06	5,54	0,00	113,24**
C5	6x1,5	1	-2,3199	2,5508	-0,0739	0,74	0,73	0,95	5,35	0,00	106,03**
	6x1,5	2	6,9973	0,8641	-	0,70	0,69	1,01	5,71	0,00	175,72**
	6x1,5	3	25,9991	-100,2000	-	0,74	0,74	0,93	5,26	0,00	220,26**
	6x1,5	4	1,3199	0,6178	-	0,75	0,75	1,06	5,99	0,00	233,41**
	6x1,5	5	3,4051	-6,4888	-	0,79	0,78	1,06	5,97	0,00	277,68**
	6x1,5	6	4,5298	-0,3358	-9,9124	0,79	0,078	1,05	5,97	0,00	140,54**

Esp.: espaçamento; R^2 : coeficiente de determinação; R^2_{aj} : coeficiente de determinação ajustado; Syx: erro padrão da estimativa em metros; Syx%: erro padrão da estimativa percentual; DMP%: desvio médio percentual; F: F calculado ($\alpha=0,05$); (**) significativo para $\alpha=0,05$.

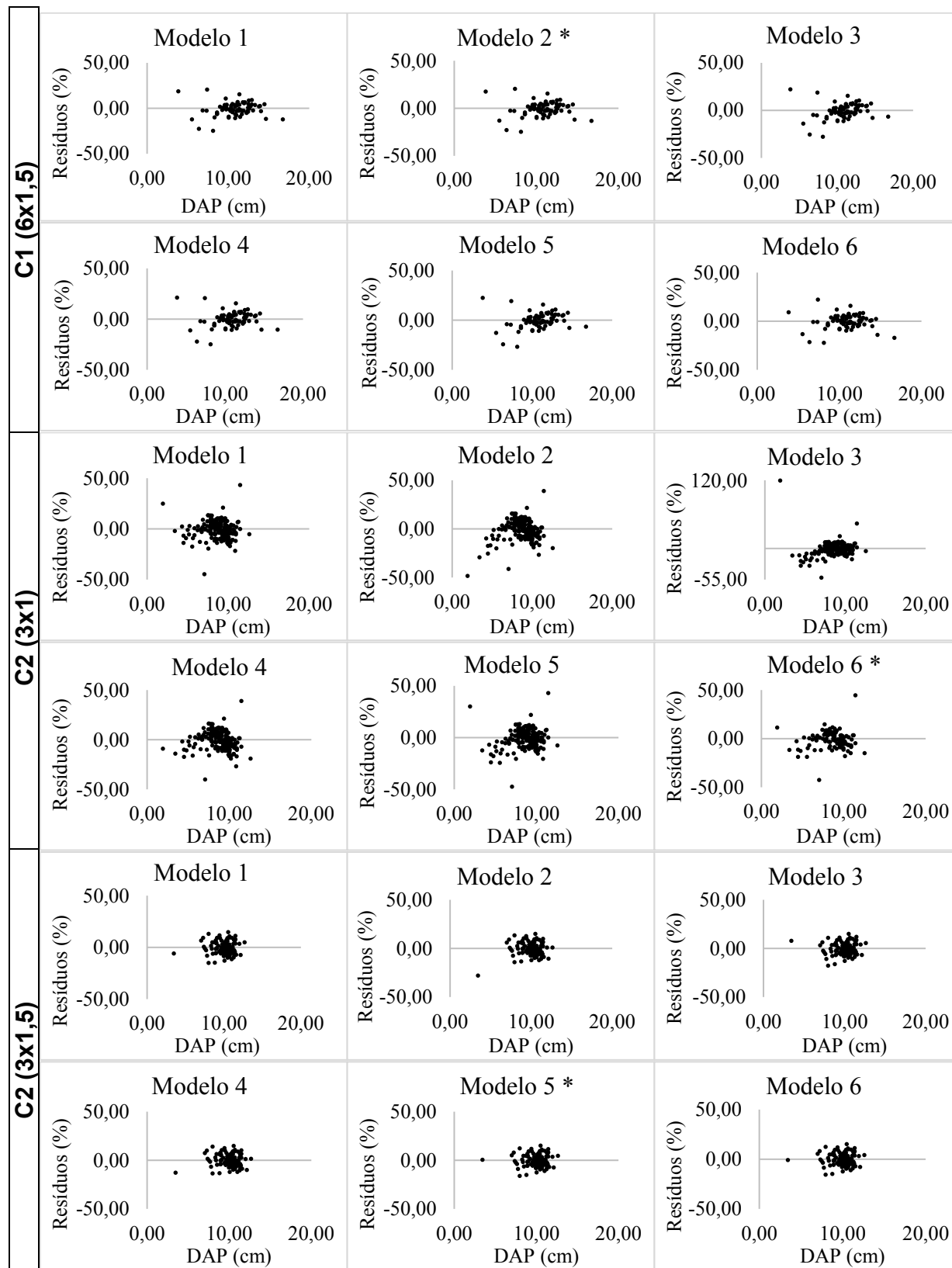
APÊNDICE B - DISTRIBUIÇÃO GRÁFICA DOS RESÍDUOS DE ALTURA EM FUNÇÃO DO DAP PARA OS MODELOS AJUSTADOS PARA CADA CLONE E ESPAÇAMENTO



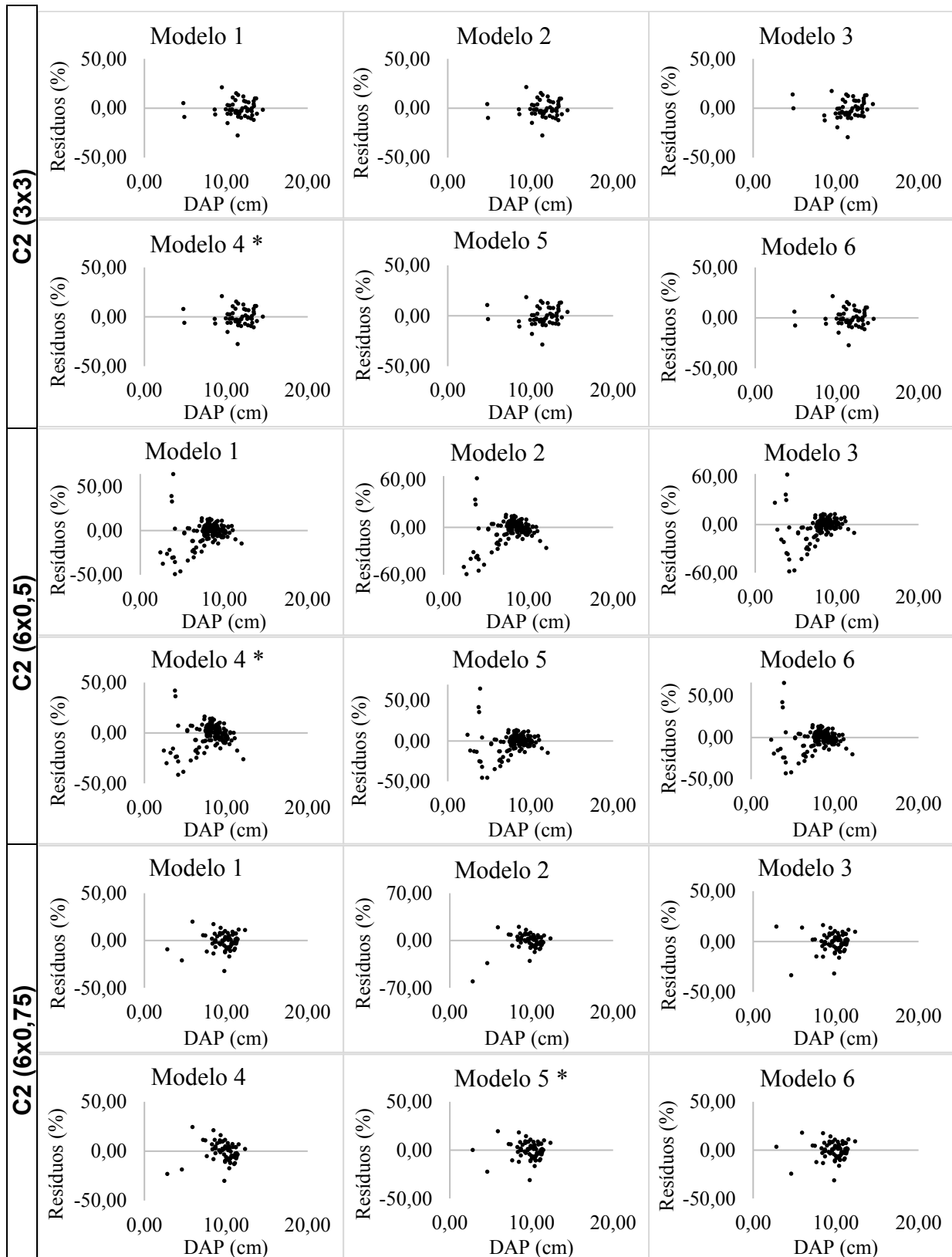
Continuação...



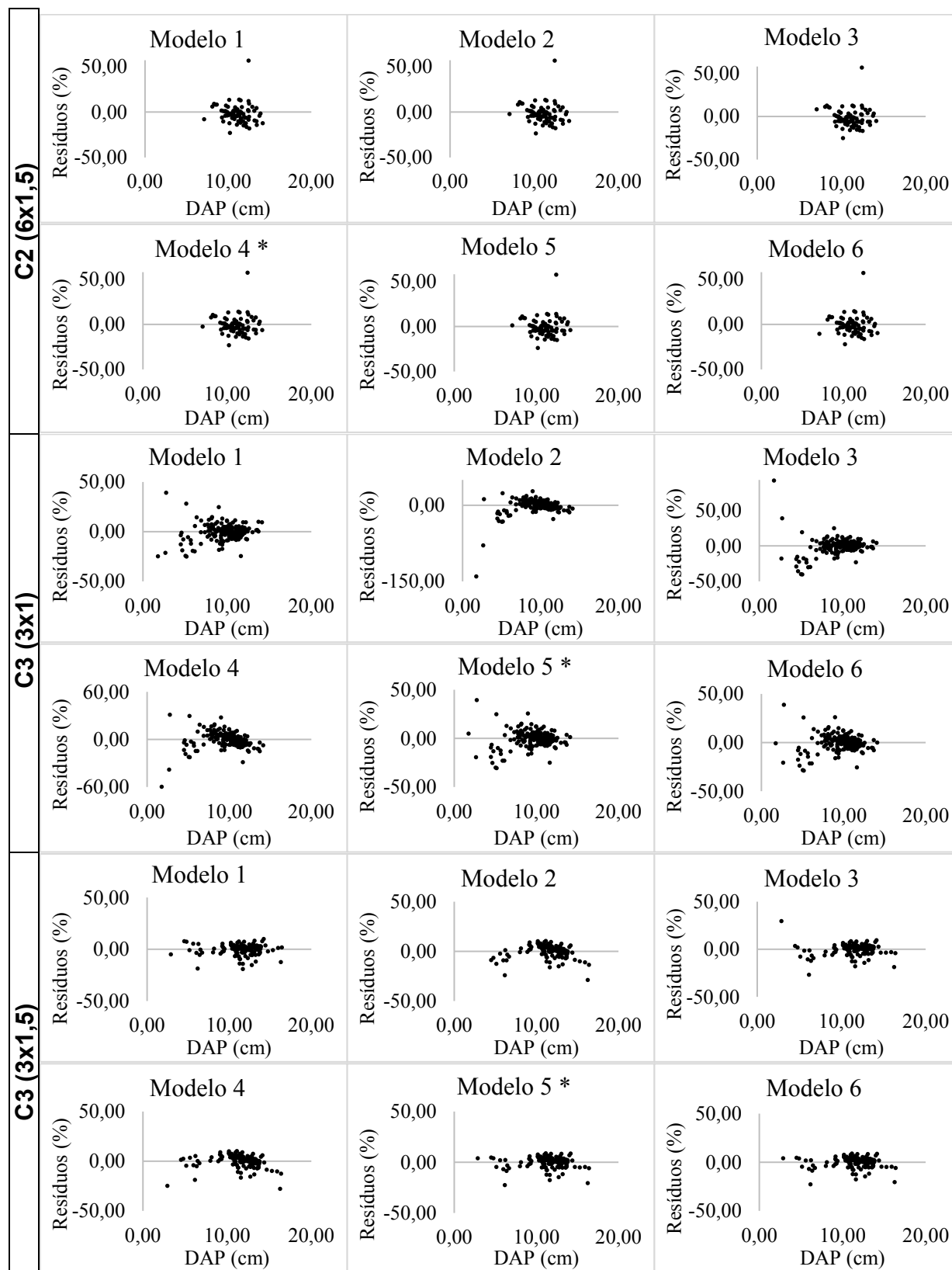
Continuação...



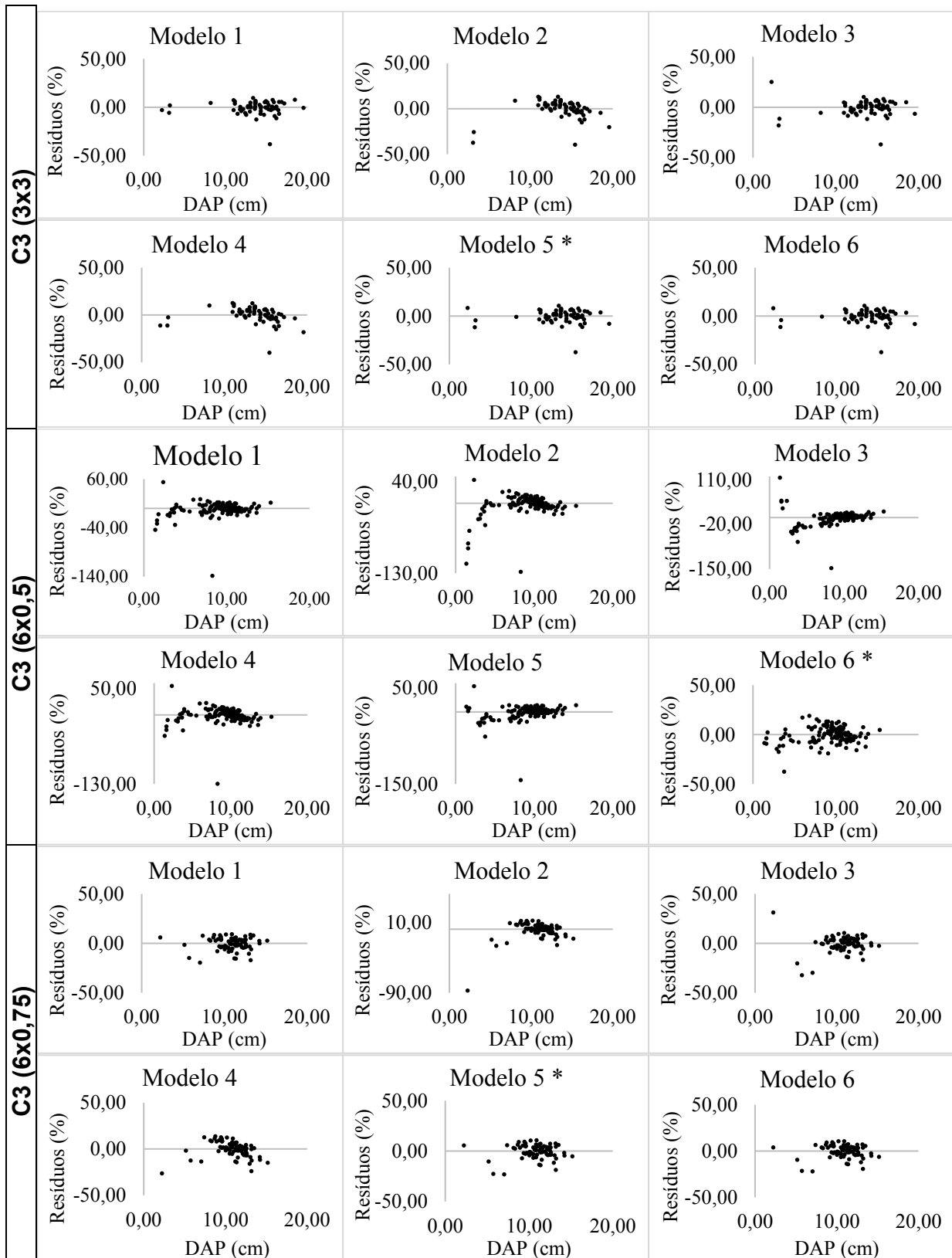
Continuação...



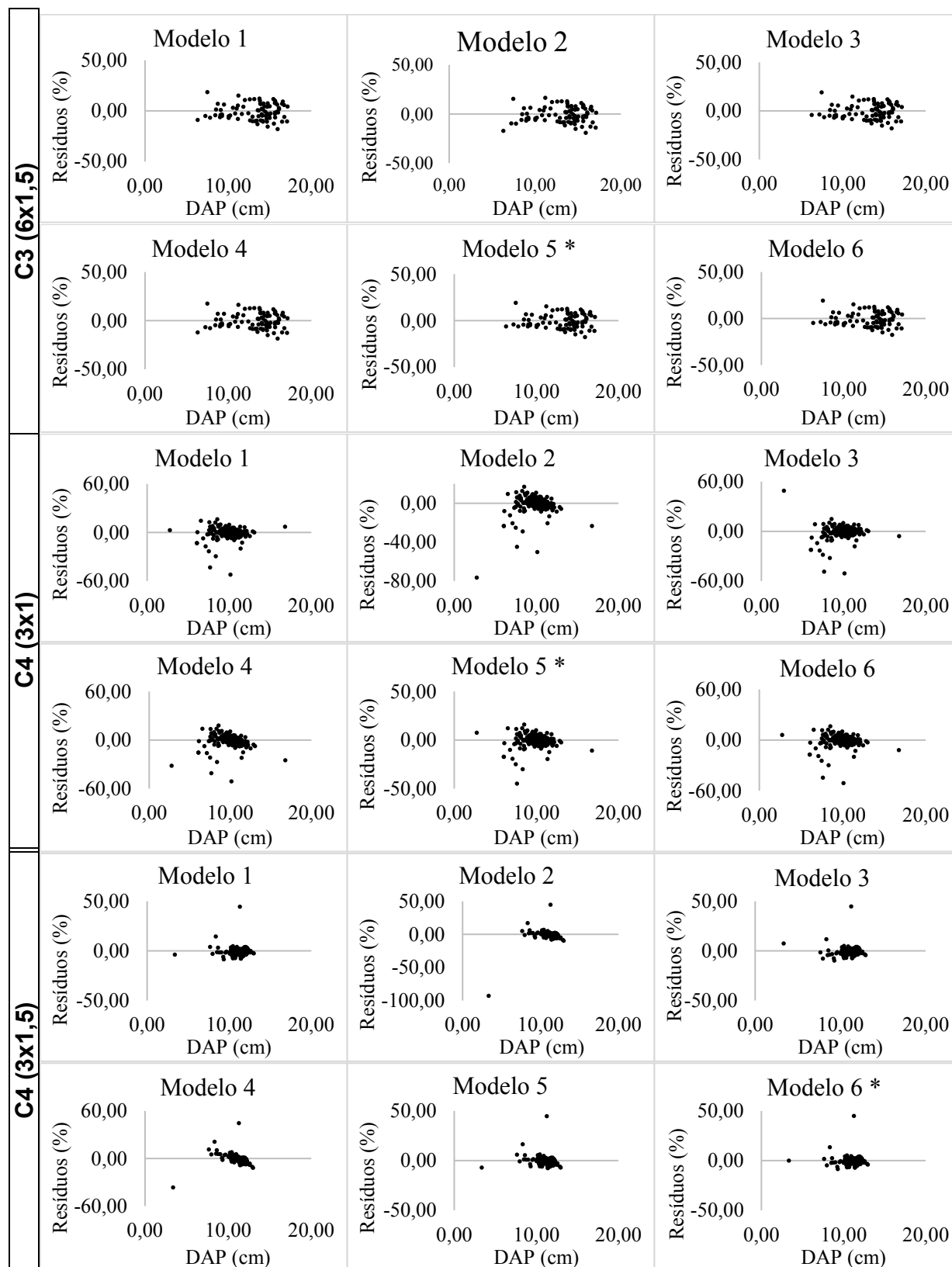
Continuação...



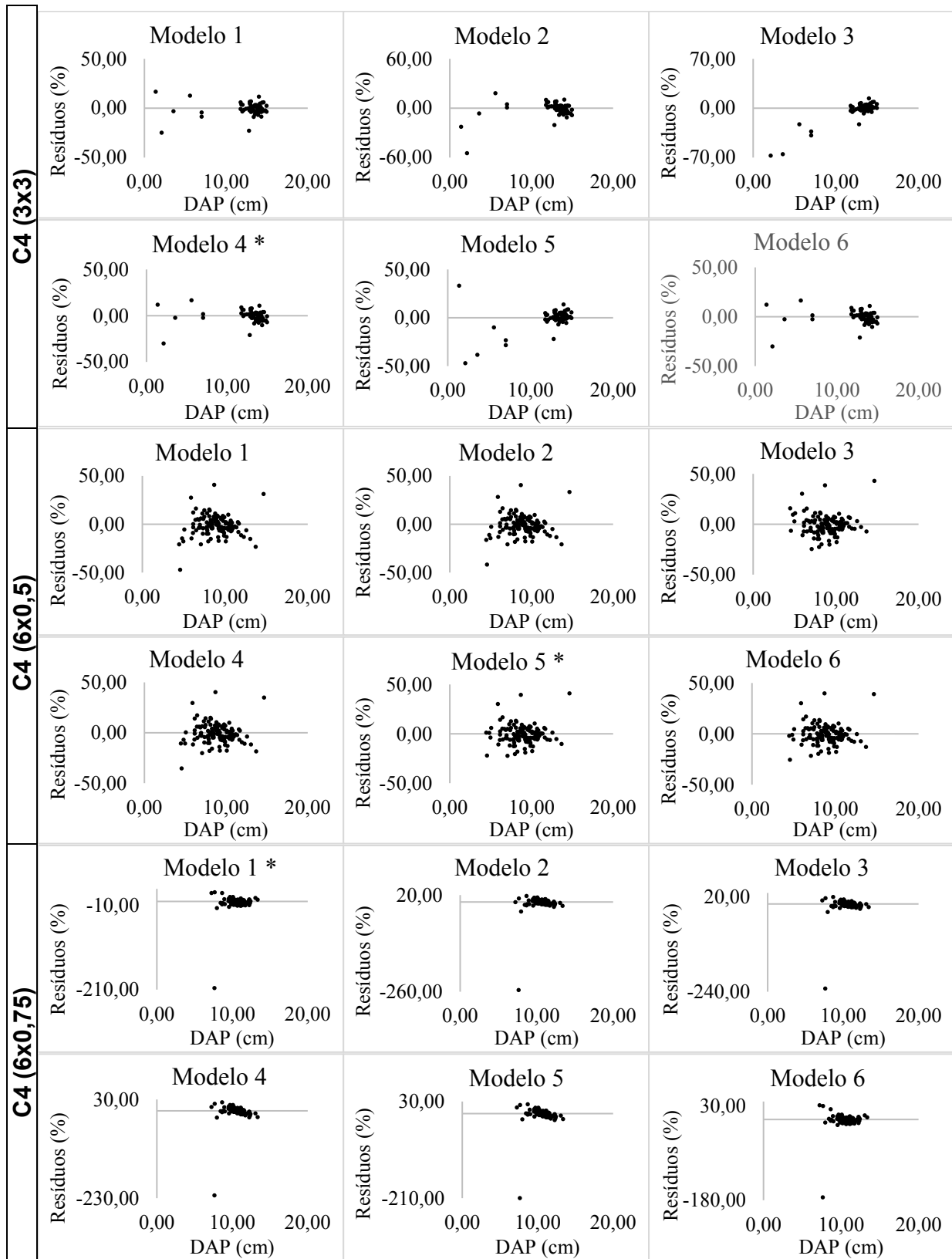
Continuação...



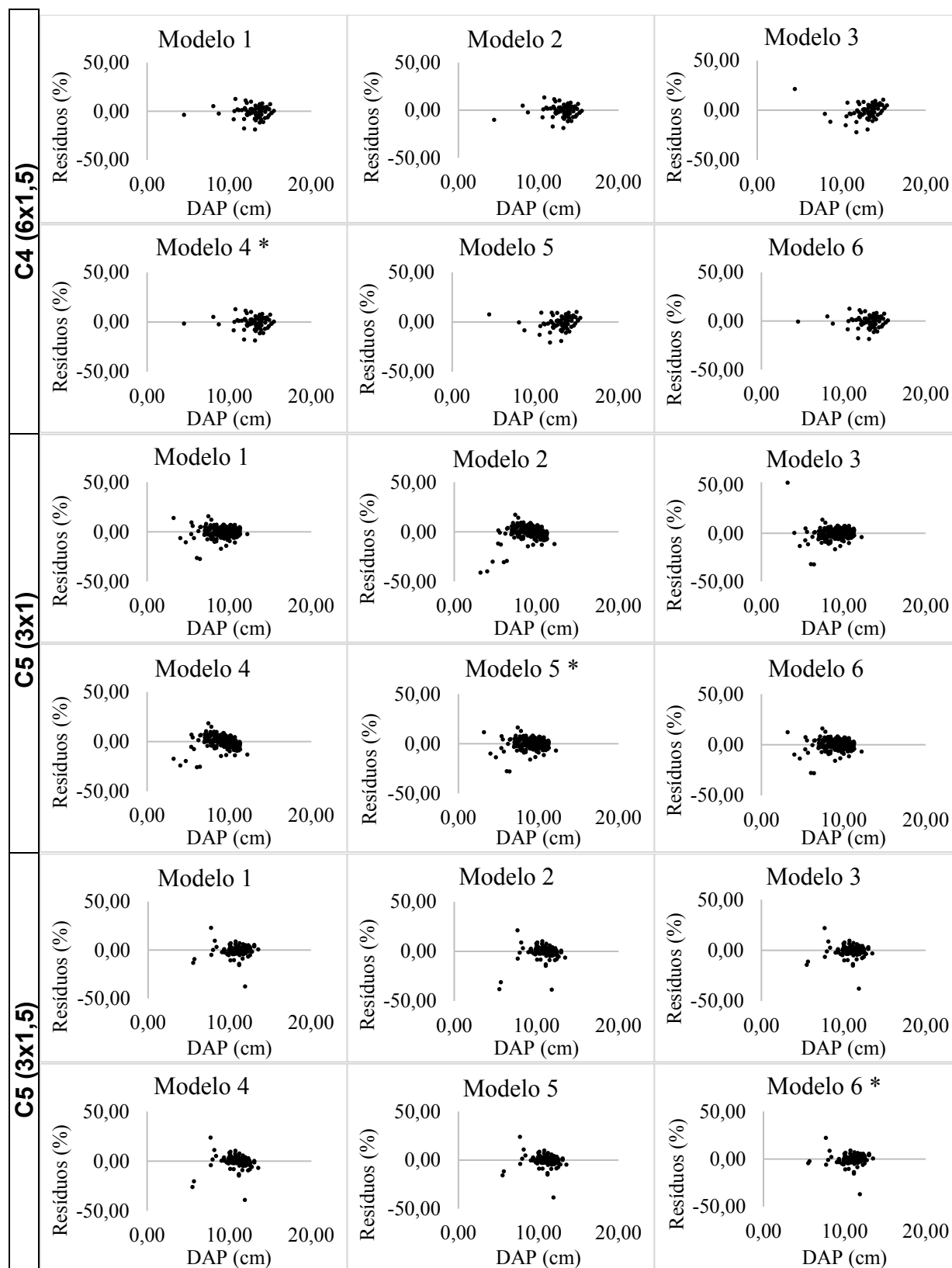
Continuação...



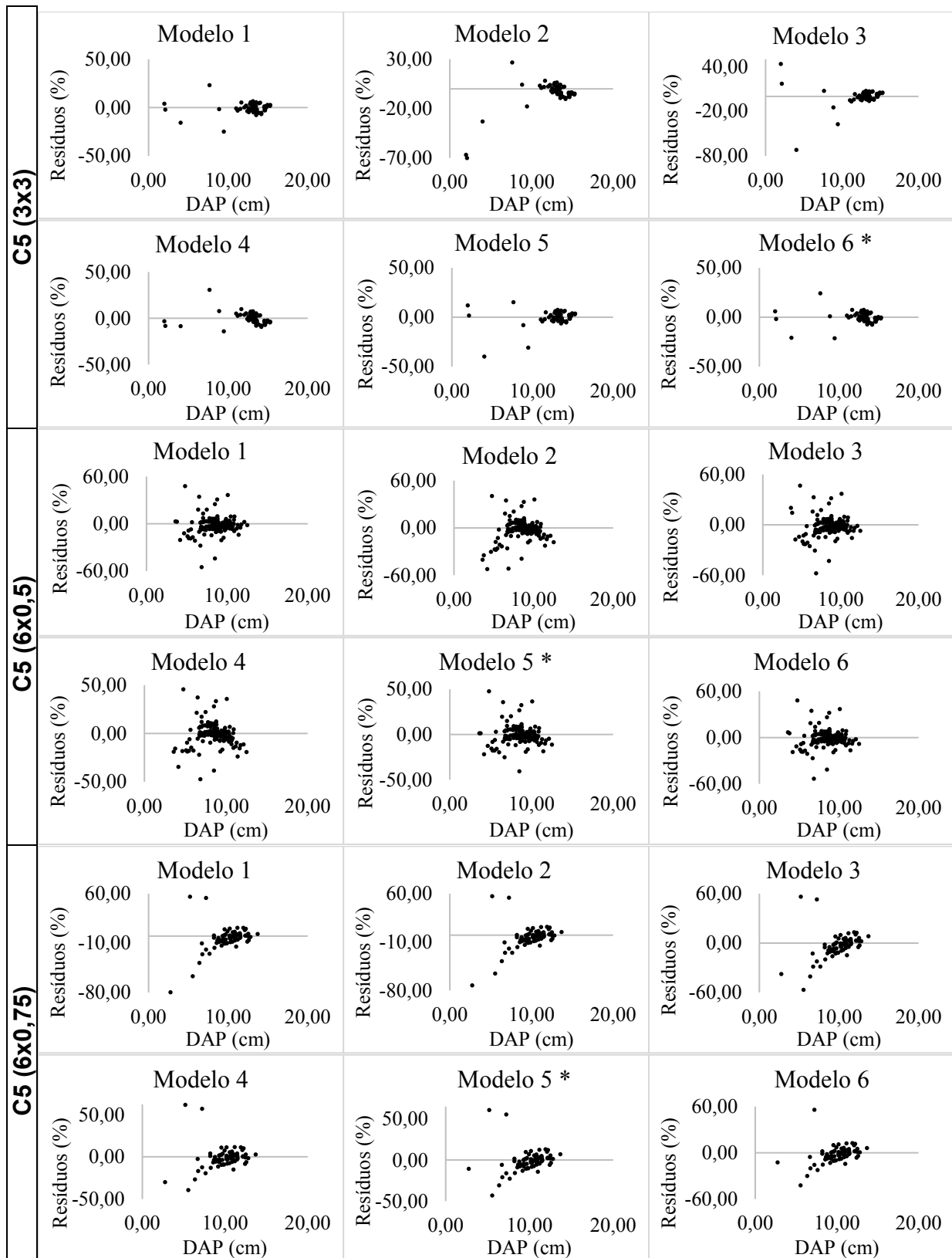
Continuação...



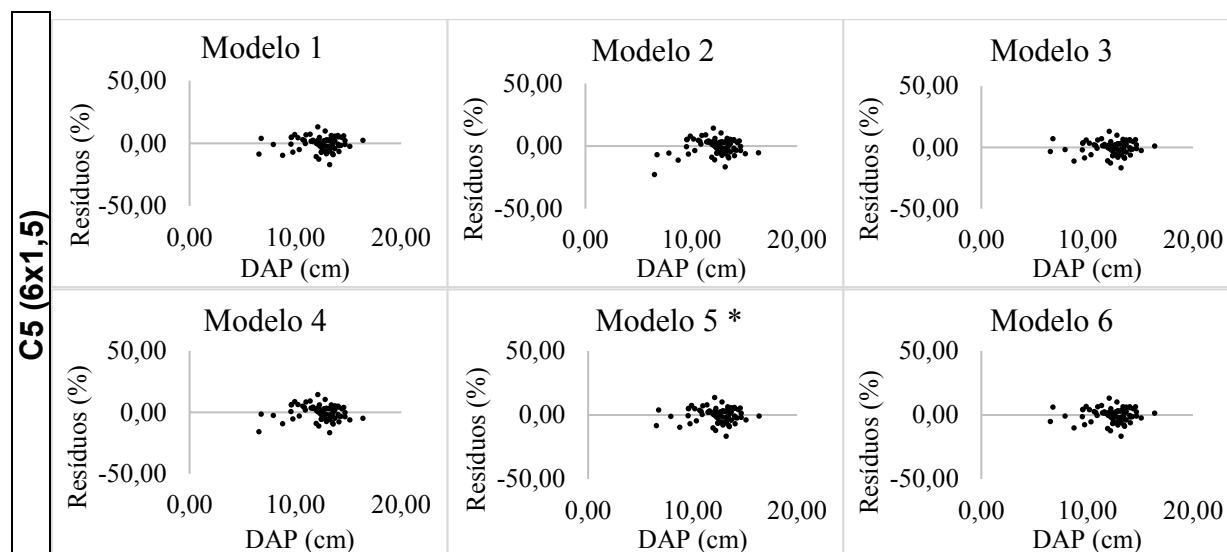
Continuação...



Continuação...



Continuação...



(*): gráficos de resíduos dos modelos selecionados.

APÊNDICE C – ADAPTAÇÃO DA TABELA DE ENTRADA DOS DADOS

sub	obs	parc	sub/rep	rep/parc	parc/sub	rep	DAP	HT	VOL
1	1	1	11	11	11	1	11.26	13.47	0.0716
2	2	1	21	11	12	1	9.88	13.73	0.0567
3	3	1	31	11	13	1	9.17	13.97	0.0497
1	4	1	12	21	11	2	12.28	14.22	0.0889
2	5	1	22	21	12	2	9.63	14.17	0.0547
3	6	1	32	21	13	2	8.84	13.58	0.0450
1	7	1	13	31	11	3	12.77	14.59	0.1065
2	8	1	23	31	12	3	10.17	13.75	0.0610
3	9	1	33	31	13	3	9.93	14.34	0.0595
1	10	1	14	41	11	4	11.44	13.43	0.0736
2	11	1	24	41	12	4	10.18	13.73	0.0598
3	12	1	34	41	13	4	9.39	13.65	0.0524
1	13	1	15	51	11	5	11.99	13.90	0.0839
2	14	1	25	51	12	5	10.34	14.28	0.0640
3	15	1	35	51	13	5	9.08	14.14	0.0502
1	16	1	16	61	11	6	11.59	13.19	0.0728
2	17	1	26	61	12	6	10.43	13.93	0.0641
3	18	1	36	61	13	6	8.89	13.70	0.0456
4	19	1	41	11	14	1	11.74	13.69	0.0797
5	20	1	51	11	15	1	9.58	13.39	0.0574
6	21	1	61	11	16	1	10.00	14.31	0.0603
4	22	1	42	21	14	2	11.58	13.94	0.0782
5	23	1	52	21	15	2	9.86	13.55	0.0570
6	24	1	62	21	16	2	9.21	14.08	0.0503
4	25	1	43	31	14	3	12.10	13.95	0.0847
5	26	1	53	31	15	3	10.05	13.11	0.0568
6	27	1	63	31	16	3	9.06	13.88	0.0493
4	28	1	44	41	14	4	10.29	13.42	0.0595
5	29	1	54	41	15	4	10.61	14.01	0.0658
6	30	1	64	41	16	4	10.10	14.68	0.0660
4	31	1	45	51	14	5	11.39	13.68	0.0762
5	32	1	55	51	15	5	9.95	13.39	0.0583
6	33	1	65	51	16	5	9.80	14.37	0.0603
4	34	1	46	61	14	6	10.78	13.27	0.0636
5	35	1	56	61	15	6	9.25	13.38	0.0486
6	36	1	66	61	16	6	8.30	13.29	0.0387
1	37	2	11	12	21	1	11.07	13.29	0.0678
2	38	2	21	12	22	1	10.21	13.83	0.0599
3	39	2	31	12	23	1	9.09	13.43	0.0465
1	40	2	12	22	21	2	11.81	13.68	0.0798

Continuação...

2	41	2	22	22	22	2	10.13	13.82	0.0595
3	42	2	32	22	23	2	9.26	14.22	0.0512
1	43	2	13	32	21	3	12.19	14.90	0.0927
2	44	2	23	32	22	3	10.60	14.95	0.0699
3	45	2	33	32	23	3	8.91	14.28	0.0484
1	46	2	14	42	21	4	11.97	13.61	0.0824
2	47	2	24	42	22	4	9.63	13.82	0.0537
3	48	2	34	42	23	4	9.34	13.83	0.0509
1	49	2	15	52	21	5	11.86	13.93	0.0826
2	50	2	25	52	22	5	10.34	14.26	0.0639
3	51	2	35	52	23	5	9.25	14.14	0.0512
1	52	2	16	62	21	6	11.72	13.79	0.0789
2	53	2	26	62	22	6	10.20	14.03	0.0609
3	54	2	36	62	23	6	9.20	13.77	0.0491
4	55	2	41	12	24	1	11.26	14.27	0.0781
5	56	2	51	12	25	1	9.74	13.83	0.0550
6	57	2	61	12	26	1	9.00	13.49	0.0466
4	58	2	42	22	24	2	11.49	14.98	0.0825
5	59	2	52	22	25	2	9.93	14.06	0.0583
6	60	2	62	22	26	2	8.97	13.91	0.0475
4	61	2	43	32	24	3	12.88	16.65	0.1148
5	62	2	53	32	25	3	9.47	13.34	0.0504
6	63	2	63	32	26	3	7.94	12.61	0.0339
4	64	2	44	42	24	4	11.02	14.37	0.0731
5	65	2	54	42	25	4	10.07	13.91	0.0591
6	66	2	64	42	26	4	8.18	12.90	0.0374
4	67	2	45	52	24	5	11.48	14.40	0.0795
5	68	2	55	52	25	5	9.67	13.76	0.0541
6	69	2	65	52	26	5	8.78	13.42	0.0439
4	70	2	46	62	24	6	10.92	14.00	0.0697
5	71	2	56	62	25	6	9.72	13.52	0.0533
6	72	2	66	62	26	6	8.22	13.03	0.0373
1	73	3	11	13	31	1	14.10	16.46	0.1399
2	74	3	21	13	32	1	11.27	15.75	0.0854
3	75	3	31	13	33	1	9.76	15.54	0.0627
1	76	3	12	23	31	2	13.66	15.75	0.1246
2	77	3	22	23	32	2	11.98	15.85	0.0952
3	78	3	32	23	33	2	9.98	15.51	0.0665
1	79	3	13	33	31	3	13.50	15.93	0.1259
2	80	3	23	33	32	3	11.48	16.03	0.0894

Continuação...

3	81	3	33	33	33	3	10.00	15.79	0.0662
1	82	3	14	43	31	4	13.98	15.92	0.1314
2	83	3	24	43	32	4	11.40	15.71	0.0864
3	84	3	34	43	33	4	10.26	16.09	0.0723
1	85	3	15	53	31	5	13.66	15.75	0.1265
2	86	3	25	53	32	5	11.66	15.95	0.0909
3	87	3	35	53	33	5	9.79	15.45	0.0632
1	88	3	16	63	31	6	13.72	15.83	0.1314
2	89	3	26	63	32	6	12.78	15.98	0.1105
3	90	3	36	63	33	6	11.07	15.79	0.0817
4	91	3	41	13	34	1	13.54	15.87	0.1249
5	92	3	51	13	35	1	10.74	14.96	0.0738
6	93	3	61	13	36	1	9.28	14.29	0.0527
4	94	3	42	23	34	2	13.68	16.59	0.1307
5	95	3	52	23	35	2	11.61	15.25	0.0873
6	96	3	62	23	36	2	10.06	15.12	0.0670
4	97	3	43	33	34	3	13.40	15.48	0.1180
5	98	3	53	33	35	3	10.98	14.88	0.0768
6	99	3	63	33	36	3	9.56	14.54	0.0576
4	100	3	44	43	34	4	14.49	17.07	0.1495
5	101	3	54	43	35	4	10.95	15.11	0.0768
6	102	3	64	43	36	4	9.54	14.59	0.0593
4	103	3	45	53	34	5	13.50	16.72	0.1320
5	104	3	55	53	35	5	11.28	15.42	0.0830
6	105	3	65	53	36	5	10.11	15.12	0.0694
4	106	3	46	63	34	6	14.80	16.03	0.1480
5	107	3	56	63	35	6	10.98	15.06	0.0764
6	108	3	66	63	36	6	9.69	14.60	0.0601
1	109	4	11	14	41	1	13.79	19.50	0.1536
2	110	4	21	14	42	1	11.42	19.23	0.1042
3	111	4	31	14	43	1	10.06	18.11	0.0767
1	112	4	12	24	41	2	14.00	19.35	0.1574
2	113	4	22	24	42	2	10.98	18.49	0.0926
3	114	4	32	24	43	2	9.79	17.59	0.0708
1	115	4	13	34	41	3	13.29	19.57	0.1438
2	116	4	23	34	42	3	10.66	18.64	0.0885
3	117	4	33	34	43	3	9.81	17.87	0.0737
1	118	4	14	44	41	4	13.51	19.50	0.1474
2	119	4	24	44	42	4	11.26	18.84	0.0991
3	120	4	34	44	43	4	9.95	17.79	0.0740

Continuação...

1	121	4	15	54	41	5	13.26	19.09	0.1388
2	122	4	25	54	42	5	11.18	18.81	0.0982
3	123	4	35	54	43	5	10.46	18.20	0.0837
1	124	4	16	64	41	6	12.96	18.41	0.1292
2	125	4	26	64	42	6	11.17	18.76	0.0970
3	126	4	36	64	43	6	9.74	17.54	0.0705
4	127	4	41	14	44	1	13.36	19.21	0.1422
5	128	4	51	14	45	1	11.16	17.59	0.0919
6	129	4	61	14	46	1	9.62	16.66	0.0649
4	130	4	42	24	44	2	13.46	20.18	0.1522
5	131	4	52	24	45	2	10.65	17.85	0.0849
6	132	4	62	24	46	2	9.42	16.56	0.0625
4	133	4	43	34	44	3	13.41	19.53	0.1454
5	134	4	53	34	45	3	10.30	17.03	0.0756
6	135	4	63	34	46	3	8.90	15.77	0.0532
4	136	4	44	44	44	4	13.26	19.42	0.1417
5	137	4	54	44	45	4	10.53	17.71	0.0821
6	138	4	64	44	46	4	9.90	16.91	0.0714
4	139	4	45	54	44	5	14.17	20.61	0.1713
5	140	4	55	54	45	5	10.94	18.11	0.0907
6	141	4	65	54	46	5	9.45	16.85	0.0644
4	142	4	46	64	44	6	12.95	18.33	0.1274
5	143	4	56	64	45	6	10.65	17.86	0.0844
6	144	4	66	64	46	6	9.51	16.63	0.0644
1	145	5	11	15	51	1	13.62	18.33	0.1437
2	146	5	21	15	52	1	10.89	17.10	0.0857
3	147	5	31	15	53	1	9.28	15.68	0.0575
1	148	5	12	25	51	2	13.27	17.98	0.1317
2	149	5	22	25	52	2	11.19	17.33	0.0909
3	150	5	32	25	53	2	9.58	16.03	0.0626
1	151	5	13	35	51	3	13.29	18.28	0.1341
2	152	5	23	35	52	3	11.06	17.61	0.0898
3	153	5	33	35	53	3	9.18	15.86	0.0569
1	154	5	14	45	51	4	13.32	18.32	0.1350
2	155	5	24	45	52	4	10.87	17.13	0.0842
3	156	5	34	45	53	4	9.49	15.76	0.0603
1	157	5	15	55	51	5	12.88	17.74	0.1233
2	158	5	25	55	52	5	10.55	16.77	0.0777
3	159	5	35	55	53	5	9.15	15.63	0.0557
1	160	5	16	65	51	6	14.09	18.45	0.1529

Continuação...

2	161	5	26	65	52	6	10.81	17.29	0.0853
3	162	5	36	65	53	6	9.47	15.82	0.0601
4	163	5	41	15	54	1	13.22	18.11	0.1315
5	164	5	51	15	55	1	10.85	17.11	0.0853
6	165	5	61	15	56	1	9.19	15.46	0.0557
4	166	5	42	25	54	2	13.23	18.63	0.1357
5	167	5	52	25	55	2	10.52	17.08	0.0801
6	168	5	62	25	56	2	9.27	15.62	0.0584
4	169	5	43	35	54	3	12.69	18.21	0.1220
5	170	5	53	35	55	3	10.51	17.11	0.0798
6	171	5	63	35	56	3	8.49	15.06	0.0472
4	172	5	44	45	54	4	12.24	17.37	0.1101
5	173	5	54	45	55	4	10.34	16.87	0.0757
6	174	5	64	45	56	4	9.04	15.37	0.0541
4	175	5	45	55	54	5	13.26	18.81	0.1393
5	176	5	55	55	55	5	10.27	16.90	0.0753
6	177	5	65	55	56	5	8.67	15.00	0.0490
4	178	5	46	65	54	6	12.03	17.49	0.1062
5	179	5	56	65	55	6	10.02	16.53	0.0699
6	180	5	66	65	56	6	8.58	15.00	0.0471